



L'astrophysicien
Stephen Hawking

Bien dormir à tous les âges

p.32

- Les cycles du sommeil • L'influence de la lumière
- Maîtriser ses cauchemars... • Conseils et recommandations



M 02667 - 838 - F: 4,80 € - RD



SAMSUNG



Gear IconX



Gear Fit2



Gear S3 frontier



Gear VR



Gear 360

www.samsung.com/fr/galaxys7

DAS Galaxy S7 edge : 0,264 W/kg. DAS membre Gear Fit2 : 0,100 W/kg. DAS membres Gear S3 Frontier : 0,265 W/kg. DAS Gear 360 : 0,084 W/kg. Le DAS (débit d'absorption spécifique des appareils mobiles) quantifie le niveau d'exposition maximal de l'utilisateur aux ondes électromagnétiques. La réglementation française impose que le DAS ne dépasse pas 2 W/kg pour une utilisation à l'oreille et 4 W/kg pour une utilisation au niveau des membres. L'utilisation d'un kit mains libres est recommandée. Le Samsung Gear VR ne convient pas aux enfants de moins de 13 ans. Lisez et respectez toutes les instructions et avertissements avant utilisation. Mobile vendu séparément. Compatible avec une liste précise de produits Galaxy. Images d'écran simulées. Fonds d'écran disponibles selon les pays. Samsung Electronics France. CS 2003. 1 rue Fructidor. 93484 Saint-Ouen Cedex. RCS Bobigny 334 367 497. SAS au capital de 27 000 000 €. **Choi**

Galaxy S7 edge



Un smartphone d'exception, un univers entier pour en profiter. Au cœur d'un écosystème complet, le Galaxy S7 vous offre toujours plus de possibilités. Vivez et revivez plus intensément chaque moment de votre vie grâce à la réalité virtuelle. Suivez votre quotidien et vos performances sportives avec nos objets connectés. Avec Samsung, repoussez les limites de la technologie pour une expérience hors du commun.

Offrez une galaxie de possibilités.



NOUS LIVRONS, VOUS BRASSEZ.

KIT DE BRASSAGE

59,90€

Hors livraison
TVA incluse

www.saveur-biere.com

-10%*

sur le kit de brassage
avec le code
SCIENCES



SAVEUR BIÈRE
ENSEMBLE, DÉCOUVRONS LA BIÈRE

*voir conditions de l'offre sur saveur-biere.com. Promotion valable jusqu'au 20/12/2016, dans la limite des stocks disponibles. Vente en ligne réservée aux majeurs. Conformément à la loi du 10/01/1991, la vente d'alcool est interdite aux mineurs.

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION



Sommeil, mode d'emploi

Nous l'avons oublié, mais nous avons tous commencé par beaucoup, vraiment beaucoup dormir !

D'abord 24 heures sur 24 ou presque dans le ventre de notre mère, et même, surprise, surprise, au moment où nous nous apprêtons à jaillir à l'air libre pour découvrir le vaste monde (p. 35). Ensuite, pendant un trimestre, nous n'avons pas trop dévié et continué de lui consacrer les trois quarts de nos journées. C'était le bon temps, clameront ceux qui n'ont pas l'heur de beaucoup fermer l'œil.

Il y aurait, en effet, un Français sur trois à faire des nuits de moins de six heures et ce, sans oublier les vrais insomniaques... Ce qui se transforme d'ailleurs, aujourd'hui en France, en problème de santé publique, ce qu'a rappelé le think tank Terra Nova au printemps 2016 (pp. 38-39).

Dans ce numéro de *Sciences et Avenir*, nos journalistes spécialistes ont donc décidé de prendre les cycles et leurs ondes cérébrales par le bon bout, et de vous livrer, cher lecteur, une sorte de vade-mecum : sommeil, mode d'emploi. D'abord, faisons

simple et consultons le graphique de la page 33 qui indique le nombre d'heures « conseillées ». On peut constater qu'il y a heureusement de la marge. Pour les 28 à 64 ans, par exemple, entre sept et neuf heures, selon les personnes. Et beaucoup d'entre nous savons bien qu'il leur faudrait parfois un petit rabirot sur l'oreiller quand, en d'autres circonstances, ils peuvent tomber du lit dès potron-minet. Ces indications générales permettront, on l'espère, de rassurer ceux qui seraient obnubilés par les injonctions simples du type « *il faut huit heures par nuit, sinon point de salut* ». Nous avons trouvé utile de répéter quelques recommandations, en revanche, qui, pourtant, peuvent sembler aller de soi ! Exemple type : respecter les signes d'endormissement et de fatigue (yeux qui piquent, bâillement...) pour rejoindre les bras de Morphée. De fait, les choses se compliquent quand il s'agit d'explicitier en quoi le sommeil n'est pas le même selon les âges. Dans notre dossier, chacun pourra se référer aux

explications qui sont les plus pertinentes pour lui, elle ou ses proches. Parents d'adolescents (trop) accros aux écrans — ils seraient 5 % à ne pouvoir se détacher de leurs jeux vidéo (p. 37), dont la lumière excite le psychisme ; personnes au-delà de 65 ans (trop) inquiètes de la fragmentation de leur sommeil ; futurs dormeurs (trop) angoissés à l'idée qu'ils vont faire des... cauchemars ! L'anxiété est bel et bien l'un des ennemis numéro 1 qu'il s'agit de combattre aussi efficacement que possible. Ainsi, Isabelle Arnulf, de l'unité des troubles du sommeil de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière à Paris (p. 41), a cette belle formule : « *Comme toute douleur, nous estimons qu'il faut éliminer les cauchemars dès l'instant qu'ils gâchent la vie. Mais faire quelques rêves angoissants n'est pas mauvais en soi.* » Car ils peuvent, c'est étonnant, se révéler stimulants ! Ce sommeil, qui fut notre partenaire intra-utérin si familier, il est toujours temps de le (re)découvrir et l'appriivoiser à nouveau. ■ @dominiqueleglu



Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris - Tél. : 01.55.35.56.00.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice de la rédaction

Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01

Rédacteurs en chef

Carole CHATELAIN (mensuel) - 01.55.35.56.57
Aline KINER (hors-série) - 01.55.35.56.42
Olivier LASCAR (pôle digital) - 01.55.35.56.15

Adjoint à la rédaction en chef

Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

Rédactrices en chef adjointes

Andréa DE BEI
(photo-iconographie) - 01.55.35.56.31
Stéphane DESMICHÈLE
(pôle digital) - 01.55.35.56.24

Direction artistique

Thierry VERRER (conception)
Dominique PASQUET
(couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILBERT
(directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY
(directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

Secrétaire générale de la rédaction

Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

Chefs de service

Azar KHALATBARI (fondamental,
sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Rachel MULOOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07
Mathieu NOWAK (actualités,
rendez-vous) - 01.55.35.56.38
Adjoint au chef de service
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Chef de rubrique

Sylvie RIOU-MILLIOT
(médecine, santé) - 01.55.35.56.54

Rédaction

Bernadette ARNAUD grand reporter
(archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Frank DANINOS (fondamental) -
01.55.35.56.78

Arnaud DEVILLARD (numérique,
data, généraliste) - 01.55.35.56.27
Marc GOZLAN (médecine bio,
généraliste) - 01.55.35.56.60
Olivier HERTEL (technologie,
futur, décryptage) - 01.55.35.56.03
Sylvie ROUAT

(espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Elena SENDER grand reporter
(biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

Collaborateurs

Brigitte BÉGUÉ, Loïc CHAUVÉAU,
Johan KIEKEN, Henri-Pierre PENEL

Assistante de rédaction

Isabelle RUDI-HOUE - 01.55.35.56.30 -
irudi@sciencesetavenir.fr

Ont participé à ce numéro

I. JOUSSEN, P. KALDY, J. LACOSTE,
A.-S. TASSARD.

Secrétariat de rédaction

Frank MIETTON (1^{er} secrétaire) - 01.55.35.56.17

Maquette

Horia BAHRI - 01.55.35.56.19

Photo-iconographie

Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32

Illustration

Betty LAFON - 01.55.35.56.37

Pôle digital

Erwan LECOMTE (chef de rubrique) -
01.55.35.56.56
Lise LOUME (rédactrice santé) -
01.55.35.56.39
Joël IGNASSE (rédacteur spécialisé) -
01.55.35.56.15
Hugo JALINIERE (rédacteur santé) -
01.55.35.56.52
Morgane KERGOAT (rédactrice animaux) -
01.55.35.56.41
Sarah SERMONDADAZ (rédactrice spécialisée) -
01.55.35.56.23

Documentation

Isabelle DO O'GOMES (chef de service) -
01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE -
01.55.35.56.48

Informatique

Daniel DE LA REBERDIÈRE -
01.55.35.5.6.06

Comptabilité - Ressources humaines

Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14
Nathalie TRÉHIN - 01.55.35.56.13

Fabrication

Christophe Perrussou

RENSEIGNEMENTS AUX LECTEURS,

VENTE AU NUMÉRO

Isabelle RUDI-HOUE 01.55.35.56.50/56.30
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris.
courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

ABONNEMENTS

Tél. : 01.40.26.86.11

8, rue Jean-Antoine de Baif, 75013 Paris
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements :

France, 1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet (12 numéros
+ 4 hors-séries) : 48 €. Tarifs pays étrangers sur demande.

Abonnements Belgique : Partner Press,
tél. : 00.32.2.556.41.40 - www.viapresse.be

VENTES Numéro vert (réservé aux diffuseurs de Paris
et aux dépôts)
0.800.24.69.33

PUBLICITÉ

MediaObs, 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris.
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.

Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com

Directrice générale : Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70

assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70

Directeur de publicité : Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75

Directrice de clientèle et responsable Web :

Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08

Assistante commerciale : Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57

Exécution : Nicolas NIRO - 01.44.88.89.26

Administration des ventes : Caroline HAHN - 01.44.88.97.58

Directeur commercial : Valéry SOURIEAU

Opérations spéciales : Joëlle HEZARD

Directeur des abonnements

Philippe MENAT - 01.44.88.35.02

assisté de Lina QUACH 34.54

Relations extérieures : France ROQUE - 01.44.88.35.79

Sciences et Avenir SAS

Président, Directeur de la publication :

Claude PERDRIEL

Secrétaire général : Jean-Claude Rossignol

Multimédia : ID OBS, 10-12, place de la Bourse,

75002 Paris. Tél. : 01.44.88.34.34.

Imprimerie SÉGO-Taverny. Distribution Prestatils.

acer

ENCORE PLUS FIN QUE VOUS NE L'IMAGINEZ

Swift 7



Processeur Intel® Core™ i5 de 7ème génération

La finesse, au-delà de votre imagination : 9,98 mm d'épaisseur

Poids plume de 1,12 kg

Autonomie de 9 heures*

Disponible chez



* La durée de vie de la batterie varie selon le type d'utilisation de l'appareil et de la puissance des installations électriques.

Intel, le Logo Intel, Intel Inside, Intel Core et Core Inside sont des marques de commerce d'Intel Corporation aux États-Unis et dans d'autres pays.
Acer France SA, 165 avenue du Bois de la Pie 95940 Roissy en France, R.C.S.
Pontoise 378 985 217.

Intel Inside® pour des performances démultipliées.





GETTY IMAGES - PLANIPICTURE

DOSSIER P. 32

Bien dormir à tous les âges

Un sommeil de qualité, avec un nombre d'heures suffisant, est essentiel pour la santé, quel que soit l'âge. Nos conseils pour (ré)apprendre à bien dormir.

5 Édito par Dominique Leglu

9 Courrier

ÉVÉNEMENT

10 L'aventure spatiale de Thomas Pesquet

SCIENCES FONDAMENTALES

14 **ACTUALITÉS** / La microscopie électronique passe à la couleur / La Lune change de visage tous les 81 000 ans / Les aurores boréales s'entendent aussi

44 Juno commence à effeuiller Jupiter

48 Un trou noir recréé dans l'eau

52 Le mystère de l'énergie sombre s'épaissit

53 Livres

HISTOIRE

16 **ACTUALITÉS** / Un ancêtre inconnu chez les Mélanésien / Un observatoire pour le patrimoine / Un cerveau fossile de dinosaure a été découvert

54 Lascaux, la colline sanctuarisée

58 Le « tombeau du Christ » a été rouvert

59 Livres

NATURE

20 **ACTUALITÉS** / La COP22 a gardé le cap, malgré Donald Trump / Un sanctuaire marin en Antarctique / Les pies bleues seraient altruistes

70 Les aventuriers de l'océan Austral

74 Une mine d'or dans nos vieux téléphones portables

78 La vie sexuelle des truffes révélée

80 Livres

SANTÉ

24 **ACTUALITÉS** / La canneberge sans effets sur les infections urinaires / Des singes paralysés remarchent / Davantage de cancers du sein chez les femmes de moins de 50 ans

82 Quand le cancer est contagieux

86 Les choux, nouveaux chouchous des cuisines

88 Baclofène : le médicament qui guérit un alcoolique sur deux

92 Une maladie sanguine soignée par une thérapie génique

94 Nouvelle piste pour la sclérose en plaques

94 Livres

HIGH-TECH

28 **ACTUALITÉS** / Des handicapés prennent le contrôle d'un robot à distance / Des épinards détectent les explosifs / Le bois fait pousser des immeubles

100 L'intelligence artificielle fait un bond fulgurant

104 La centrale inertielle pour ne pas perdre le nord

106 Martin Vetterli, le nouveau directeur de l'EPFL (Suisse)

108 Le « GPS européen » va enfin démarrer

109 Citizen sciences : les big data au service du bien commun

110 La voiture autonome va créer l'anarchie pédestre

110 Livres

112 Spécial cadeaux : un Noël technologique

SCIENCE PRATIQUE

120 Par quoi sera remplacée la tutelle américaine sur Internet ?

122 Le test du mois : les drones de loisirs

126 L'observation du ciel de décembre

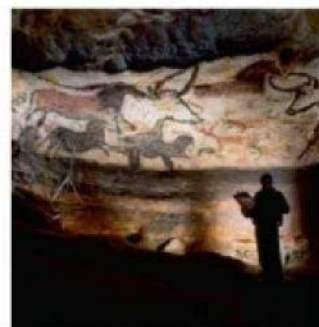
128 Rendez-vous

130 L'info en continu sur sciencesetavenir.fr



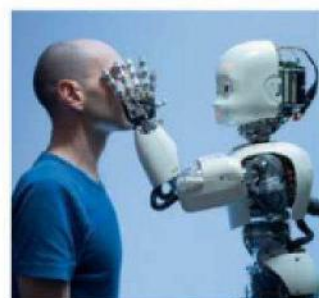
MAXIM ZNEVEV/REUTERS

Thomas Pesquet, un voyage de six mois dans l'espace p. 10



SUSSE BRIMBERG/NATIONAL GEOGRAPHIC CREATIVE

Le nouveau fac-similé de la grotte de Lascaux ouvre le 15 décembre p. 54



EMILE LORAUX/PICTURETANK

Les prouesses de l'intelligence artificielle p. 100

3,20 %
CE N'EST PAS RIEN



LIVRET D'ÉPARGNE
DISTINGO **3,20 %**
BRUTS GARANTIS 2 MOIS
JUSQU'À 75 000 €*
PSA BANQUE FRANCE

NOUVELLE OFFRE
DE BIENVENUE JUSQU'AU
4 DÉCEMBRE 2016

PSABANQUE
ÉPARGNE EN LIGNE

* Offre soumise à conditions, valable pour toute première ouverture d'un Livret d'épargne Distingo jusqu'au 04/12/2016 inclus. Taux promotionnel annuel brut de 3,20% garanti pendant 2 mois jusqu'à 75 000€. Au-delà des 2 mois et des 75 000€, taux annuel brut de 1,20% susceptible de variations. Taux bruts exprimés avant prélèvements sociaux et fiscaux. Conditions disponibles sur www.psabanque.fr - PSA BANQUE FRANCE Nanterre 652 034 638.



« Pleins feux sur Proxima b »
Sciences et Avenir n° 837 novembre 2016

Courriels à : redaction@sciencesetavenir.fr

Gentils les E.T. ? pas si sûr...

La conclusion de votre article sur Proxima b dans le numéro de novembre conseillant d'éviter d'attirer l'attention auprès d'une intelligence E.T. me fait penser à l'angélisme des scientifiques qui ont décidé d'envoyer les plaques sur les sondes Pioneer. Autant donner les clés de sa maison à des inconnus, sans savoir de quelles intentions ils

sont animés ! La probabilité d'être confrontés à des « envahisseurs » technologiquement supérieurs n'est pas négligeable et le principe de précaution exposé par Stephen Hawking est loin d'être fantaisiste.

Jean-Luc Torregrassa (Tours)

S. et A. : Vous avez sans doute raison, d'autant que ces civilisations ont pu atteindre un degré de développement technologique bien plus élevé que le nôtre. Les spécialistes disposent de

l'échelle de Kardashev, du nom de l'astronome russe Nikolai Kardashev, qui l'a établie en 1964 sur la base de la consommation énergétique et du développement technologique. Ses trois niveaux sont atteints lorsqu'une civilisation maîtrise toute l'énergie disponible sur sa planète, son étoile et dans sa galaxie. Les humains seraient encore au stade zéro. Les éventuelles civilisations extra-terrestres se trouvent peut-être à un niveau plus avancé et auraient ainsi développé des armes que nous ne maîtrisons pas. Cependant il se peut aussi qu'elles soient pacifistes, mais ça nous l'ignorons !

Oreille de Neandertal

Je tenais à vous remercier pour la qualité croissante de votre revue et vous signaler une erreur dans un de vos articles. En effet dans « À l'écoute de Neandertal », p. 70 du n° 837, la légende présente les diffé-

rences anatomiques entre le marteau (*malleus*) de *Homo sapiens* et celui de Neandertal, or le dessin montre... une enclume (*incus*).

Dr Laurent Tardivet (Nice)

S. et A. : Merci pour cette rectification. Vous avez l'œil !

Précisions

Moyen Âge. L'article « Compagnons : les insoumis prennent la route » paru dans le hors-série n° 187 « Vivre en ville au Moyen Âge, les nouvelles découvertes » est signé Carole Chatelain. Un problème technique en a supprimé la mention.

Pistorius. Dans l'article consacré aux jeux bioniques (S. et A. n° 836 octobre 2016), l'athlète Oscar Pistorius est de nationalité sud-africaine et non australienne comme mentionné par erreur.

Une formidable diversité 12 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous



N° 830 Vaincre le cancer. Le guide des meilleurs hôpitaux et cliniques



N° 831 Comment la vie est apparue



N° 832 Manger bio



N° 833 Les plantes qui soignent



N° 834 Les 50 dernières découvertes



N° 835 Le ventre, clé de notre santé



N° 836 L'antimatière révèle les secrets de l'Univers



N° 837 Les frontières de la conscience

Bon de commande

Je commande les numéros ci-après au prix de : 7 € par numéro payable par chèque à l'ordre de Sciences et Avenir (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir
41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris.

☐ N° 830 ☐ N° 831 ☐ N° 832 ☐ N° 833
☐ N° 834 ☐ N° 835 ☐ N° 836 ☐ N° 837

☐ Commandez une reliure pour 12 numéros : 15 €



Nom :

Adresse :

..... Ville :

Code postal :

L'aventure spatiale de Thomas Pesquet

L'astronaute français devait entamer le 20 novembre un séjour de six mois à bord de la Station spatiale internationale pour y réaliser 50 expériences. Retour sur une aventure exceptionnelle.

Par Sylvie Rouat

SIX MOIS DE TRAVAIL INTENSIF dans la station Spatiale internationale (ISS), à 400 km au-dessus de nos têtes, c'est ce qui attend désormais Thomas Pesquet, 38 ans, l'astronaute français de l'Agence spatiale européenne (ESA), jusqu'en mai 2017. Rappelons qu'il a été propulsé vers l'orbite par une fusée Soyouz dans la soirée du 17 novembre, depuis la base spatiale de Baïkonour, avec l'Américaine Peggy Whitson (Nasa) et le Russe Oleg Novitsky (de l'agence spatiale fédérale russe Roscosmos). Sélectionné en 2009 en même temps que cinq autres astronautes, il s'est entraîné pendant sept ans aux quatre coins de la planète,

assimilant des connaissances en astronautique, apprenant le russe, le système informatique de la station, etc. Désormais, son emploi du temps est réglé comme du papier à musique : réveil à 6 heures, conférence audio avec les centres de contrôle terrestres à 7 heures pour recevoir le plan de la journée. Puis chacun se met au travail : moitié recherche, moitié logistique et maintenance de la station. À la fin de la journée, sport obligatoire pendant deux heures, avant la conférence de clôture, à 19 heures. « *Le soir, on essaye de dîner ensemble, explique Thomas Pesquet, mais après 19 heures, c'est du temps libre. Le samedi, c'est jour de grand ménage dans la station. Enfin, le dimanche est libre, excepté les*



Jeudi 17 novembre, à 21 h 20, heure française, Thomas Pesquet, l'Américaine Peggy Whitson et le Russe Oleg Novitsky, décollent à bord de la fusée Soyouz MS-03 depuis Baïkonour.

deux heures de sport obligatoire. » Mener à lui seul pas moins de 50 expériences en 180 jours, dont 21 gérées par le centre toulousain du Cnes (Centre national d'études spatiales), c'est le défi que devra relever le benjamin du corps des astronautes européens, à l'intérieur du module Columbus, principale contribution européenne à la station depuis 2008.

Un échographe pilotable depuis la Terre sera testé

En tout, 300 expériences scientifiques (80 du côté russe et 220 pour la Nasa, l'Esa, la Jaxa et l'Agence spatiale canadienne) doivent être effectuées par les six astronautes à bord de l'ISS. Il est ainsi prévu, entre autres, que Thomas Pesquet teste un échographe portable, pilotable par un médecin à terre qui effectuera les examens à distance. Ce genre d'innovation, nécessaire dans les futurs vaisseaux spatiaux, pourra aussi se révéler très utile sur Terre, en tout lieu éloigné d'infrastructures de soins. « *Nous testons également des surfaces innovantes : dans la station, les virus et bactéries sont plus virulents, sans que l'on sache pourquoi. Un industriel français a développé une surface résistante aux bactéries, qui pourrait servir un jour à équiper des lieux très*

RECRUTEMENT

Un corps d'astronautes pour l'Europe



Le corps des astronautes européens est constitué, depuis 2000, de tous les astronautes recrutés par les pays membres, ainsi que de ceux sélectionnés directement par l'Agence spatiale européenne. Deux campagnes de recrutement de six astronautes chacune ont eu lieu en 1992 et 1998. En 2008, une nouvelle session a permis de retenir, parmi 8413 candidatures, les Italiens Luca Parmitano et Samantha Cristoforetti, qui ont volé respectivement en 2013 et 2014, l'Allemand Alexander Gerst, le Danois Andreas Mogensen, le Britannique Timothy Peake et Thomas Pesquet (photo).



▲
Ultime préparatifs pour
Thomas Pesquet, sur
la base spatiale de Baïkonour,
avant l'installation dans la
capsule.



INTERVIEW

**JEAN-FRANÇOIS
CLERVOY**

ASTRONAUTE SENIOR À L'ESA

« Un premier vol habité autour de Mars en 2030 »

Quelle est votre vision pour l'après-ISS ?

Je pense qu'il va falloir intégrer les Chinois, qui vont bientôt disposer de leur station définitive Tiangong-3, à la coopération internationale. L'ESA a un accord-cadre avec la Chine pour participer à des vols eurochinois dans les années 2020. C'est dans cette perspective, d'ailleurs, que les astronautes Thomas Pesquet et Samantha Cristoforetti apprennent le chinois. Les Américains feront des vols ponctuels avec leur capsule Orion, d'abord avec un vaisseau automatique qui ira capturer un astéroïde géocroiseur pour le rapprocher de la Terre, avant que des astronautes ne se posent à sa surface. De leur côté, les Russes réfléchissent à construire leur propre station. Chacun aura son programme, avec en filigrane l'idée d'aller ensemble vers Mars.

Quand l'homme posera-t-il un premier pied sur Mars ?

Dans les années 2030, aura lieu un premier voyage habité qui se mettra en orbite autour de Mars. L'homme ne posera sans doute pas le pied sur le sol martien avant 2040. En Europe, nous avons également proposé de réaliser un « Moon village », pour fédérer les efforts de différents pays à travers la planète afin de créer une infrastructure automatisée, semi-habité, puis habitée en permanence sur la Lune...

On reproche souvent le coût des vols habités...

Le spatial n'est pas si cher : cela revient pour les pays membres de l'ESA à 1 € par personne et par an. Si on supprimait cet euro, cela ne donnerait pas plus de crèches ni d'écoles, mais cela supprimerait tout un pan de la société qui élève notre savoir-faire. Cela contribue à rendre nos sociétés plus compétitives et plus sages, car la sagesse d'une société se mesure à son niveau de culture et d'éducation. Nos astronautes ont de forts niveaux de responsabilités dans les vols Soyouz et dans l'ISS, d'ailleurs l'Allemand Alexander Gerst va avoir accès au poste de commandant de bord de l'ISS en 2018.

Propos recueillis par S. R.

► *fréquentés comme le métro* », suggère Thomas Pesquet.

Cela fait maintenant dix-huit ans que des humains vivent et travaillent dans ce qui demeure la plus vaste, complexe et ambitieuse construction humaine jamais assemblée dans l'espace : treize ans et 140 lancements auront été nécessaires pour mener à bien ce projet dans lequel se sont investis les Américains, les Russes, les Européens, les Canadiens et les Japonais, soit au total 16 nations différentes. L'aventure a commencé en 1998, avec le lancement du modèle central russe, autour duquel sont venus peu à peu se greffer les autres modules, de part et d'autre d'une poutre de 108 mètres de long, d'immenses panneaux solaires lui fournissant l'énergie nécessaire. « Dans la station, décrit Thomas Pesquet, il y a deux grands acteurs : les Russes et les anglophones, qui comprennent les Américains, les Européens, les Japonais et les Canadiens. La langue officielle est normalement l'anglais mais côté russe tout a été conçu en russe, c'est donc la langue pratiquée. Et parfois on parle un mélange des deux langues. »

16 levers et couchers de Soleil par jour

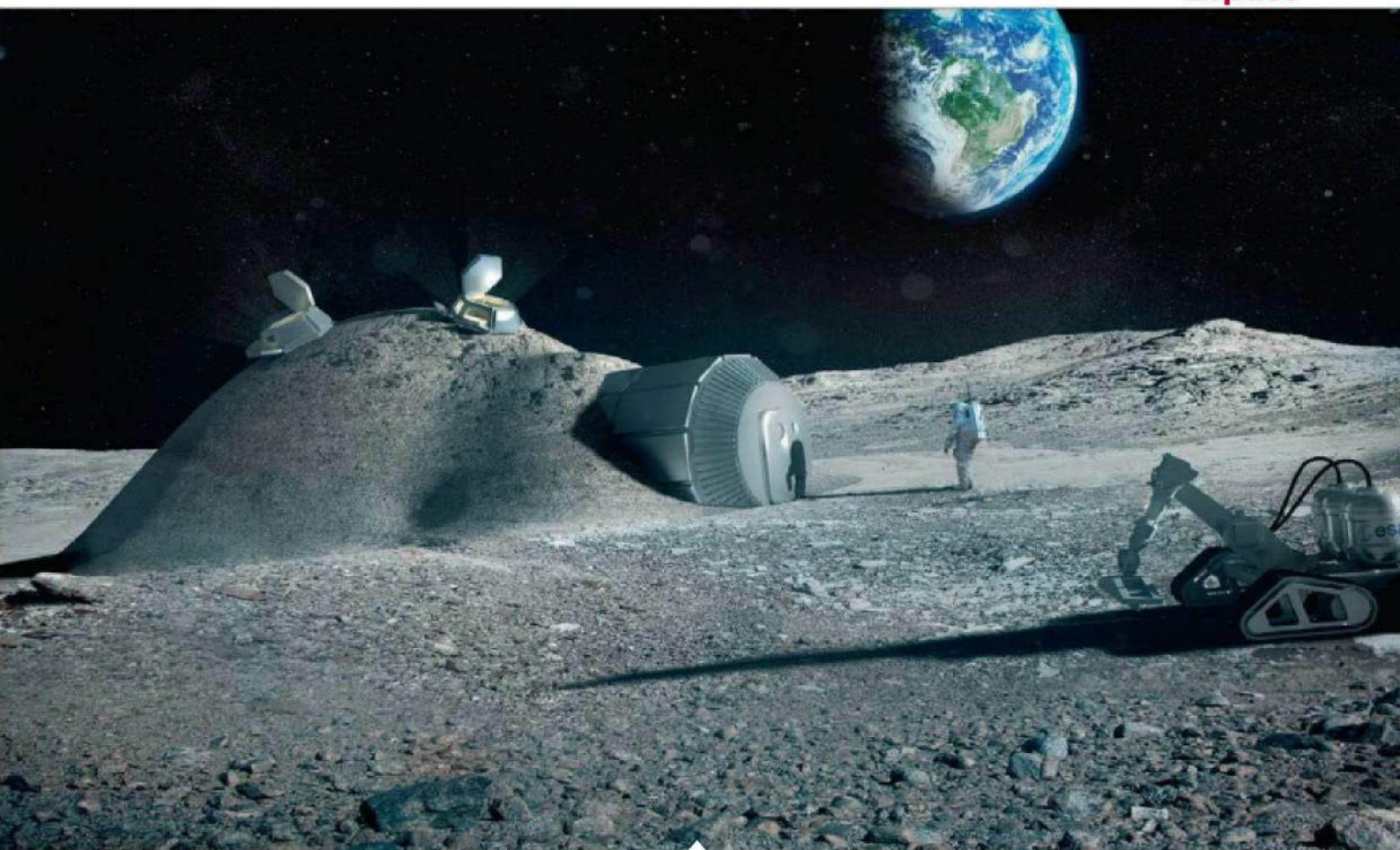
Les 900 m³ (dont 400 habitables) de la station, aussi vaste que cela puisse paraître, offrent un environnement particulier qui nécessite une préparation psychologique importante. Lors de son entraînement, Thomas Pesquet et ses camarades ont dû passer six jours sous terre, en situation de stress et de confinement pour souder l'équipe. Désormais, tandis que la station file à la vitesse de 8 km/s (28 800 km/h), l'équipage peut

admirer, lorsqu'il en a le temps, 16 levers et couchers de Soleil par jour ! Quatre sorties extravéhiculaires, deux au début de la mission et deux à la fin sont également prévues au programme. D'abord pour installer à tribord des batteries au pied de deux panneaux solaires sur huit, qui correspondent à autant de circuits électriques essentiels à la vie à bord. Le bras robotique articulé de 17 mètres sera de la partie, piloté depuis l'intérieur de la station avec un joystick et des écrans de contrôle. Deux astronautes en scaphandre pressurisé s'affaireront, eux, à l'extérieur. Thomas Pesquet espère en être, mais les rôles ne sont pas encore distribués.

Début décembre, l'ESA devrait donner son aval pour prolonger la vie de l'ISS jusqu'en 2024. « C'est techniquement faisable », approuve Jean-François Clervoy, astronaute senior à l'ESA. Mais l'ISS est-elle réellement utile ? Pour Isabelle Sourbès, spécialiste de l'espace et des politiques spatiales au Centre Alexandre Koyré, « maintenant que la station est construite, la question n'est plus d'actualité. Il faut désormais en tirer le meilleur parti ». « Tant qu'à aller en orbite, autant y faire quelque chose d'utile pour l'humanité », renchérit Jean-François Clervoy.

L'ISS a désormais deux rôles. Elle offre aux scientifiques un laboratoire aux conditions uniques, où peuvent être réalisées des expériences en microgravité, voire, pour la science des matériaux et l'exobiologie, en profitant du vide quasi parfait qui règne à l'extérieur. Les longs séjours dans la station constituent aussi une étape indispensable pour l'homme s'il veut un jour partir au-delà de l'orbite terrestre. Conquérir Mars ? Il faut

Le quart des expériences que l'astronaute français va réaliser servira à l'exploration spatiale



Le village lunaire international proposé par l'ESA permettrait de fédérer les efforts des pays sur la recherche spatiale une fois l'ISS hors service (vue d'artiste).

draît pouvoir vivre 900 jours en autonomie complète. Nous ne savons pas encore si les astronautes ressortiraient indemnes d'un tel voyage. « Dans mon programme personnel, le quart des expériences servira à l'exploration

RECHERCHE

L'Europe se prépare aux vols de longue durée

Un vol de longue durée implique la mise au point des technologies de recyclage. Aussi, à l'automne 2017, les Européens emporteront-ils vers l'ISS une grosse « armoire » qui, par un système d'électrolyse de l'urine et du gaz carbonique relâché dans l'ISS, produira de l'eau pure et du méthane. Il faut aussi être capable de transformer les déchets solides en matière nutritive, grâce à des bactéries et enzymes. C'est l'objectif du programme européen Melissa (Micro-Ecological Life Support System Alternative) mené à Terre sur des rats. « L'Europe est en train de recueillir le fruit de son investissement dans l'ISS, estime Isabelle Sourbès. En acquérant des compétences de vie en orbite, en multipliant ce type de recherches, elle s'impose comme partenaire pour un éventuel voyage vers la Lune ou Mars. »

spatiale », précise Thomas Pesquet. Et notamment MARES (Muscle Atrophy Research and Exercise System), destinée à étudier finement la musculature, notamment par des stimulations électriques des muscles de la jambe, qui fondent en orbite. Cela pourra ensuite servir à établir des modèles de vieillissement, pour les myopathies, etc. Dans l'espace, les fluides corporels se répartissent en effet différemment, les astronautes arborant ainsi un faciès lunaire et des jambes maigrichonnes. Peut-être ceci explique-t-il cela : la pression intracrânienne augmente dans l'espace et la vision d'un astronaute sur quatre s'en trouve altérée. « C'est un souci sérieux, souligne Jean-François Clervoy, car ce n'est pas toujours réversible. Or sur des vols de longue durée, si on ne résout pas ce problème,

cela pourrait entraîner la cécité de membres d'équipage. »

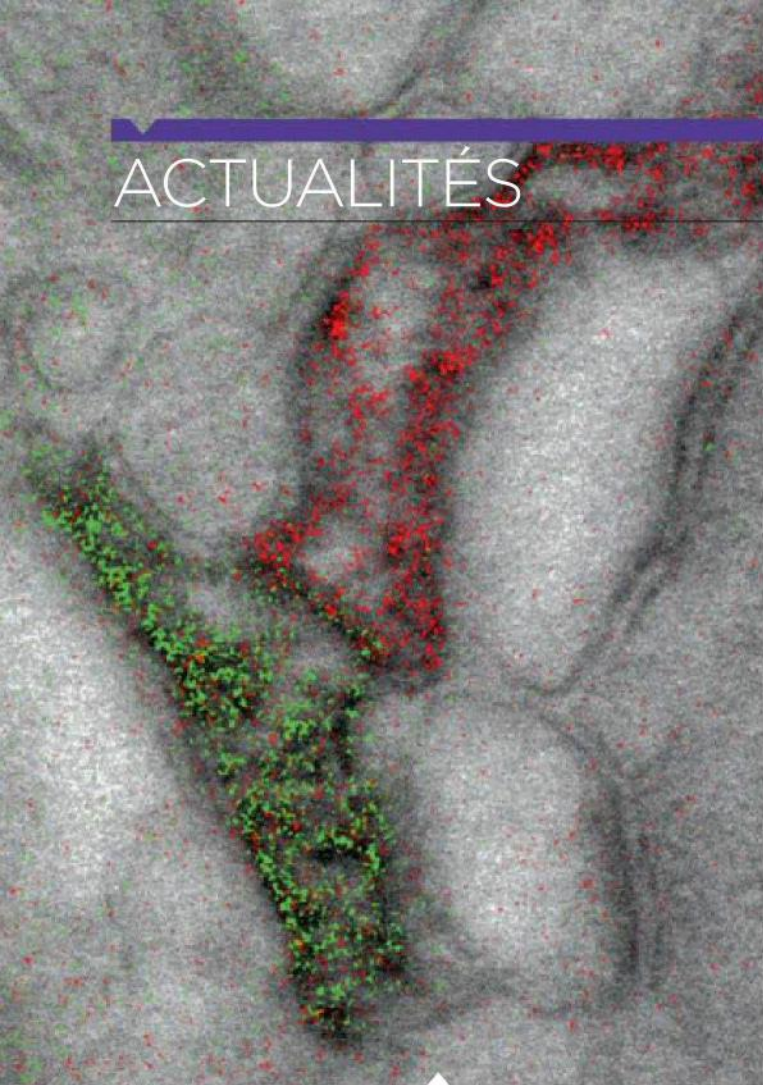
Demeurer longtemps en apesanteur — outre l'impact de radiations, à étudier aussi — est très éprouvant. « Lorsqu'on flotte et quand deux doigts suffisent à déplacer des charges de 700 kilos, beaucoup de muscles deviennent inutiles, remarque Thomas Pesquet ; ceux des jambes, des cuisses, du dos ont tendance à fondre. » Les parois veineuses ont également tendance à s'affiner, comme si le corps vieillissait de manière accélérée. Ici, le phénomène est réversible, mais pour un plus long voyage, le sera-t-il ? La science sur l'ISS est aussi un gage de santé. ■

[@srouatl](https://twitter.com/srouatl)



LE + NUMÉRIQUE

Retrouvez l'intégralité de nos articles sur le vol de Thomas Pesquet : sciav.fr/Pesquet



La couleur permet de mieux identifier deux structures en étroit contact.

La microscopie électronique passe à la couleur

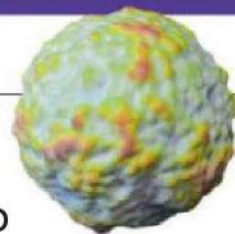
La structure fine des cellules devient ainsi plus accessible aux chercheurs.

IMAGERIE Depuis son invention, il y a plus de 80 ans, le microscope électronique ne permettait d'obtenir que des clichés en noir et blanc des cellules, où il est difficile d'identifier des structures différentes mais en étroit contact. Cette limitation vient d'être levée par une équipe de chercheurs de l'université de Californie (États-Unis) avec un procédé fondé sur le dépôt de deux métaux pouvant être discriminés par un même faisceau d'électrons. Ce marquage différentiel a ainsi permis de retrouver la présence d'un

type de protéine dans des vésicules digestives de la cellule. Les deux métaux utilisés n'absorbent pas la même quantité d'énergie électronique. Une couleur, rouge ou vert, est associée au signal distinct de chaque métal, et les images reconstituées sont superposées à celle de la microscopie électronique classique. La structure fine des cellules devient davantage accessible aux chercheurs, ce qui peut compléter l'apport des images 3D obtenues par la microscopie de fluorescence à super-résolution.

P. K.

Couleurs et textures ►
figurent la température et la densité.



Le fond diffus cosmologique en 3D

ASTRONOMIE Le fond diffus cosmologique (ou rayonnement fossile) a désormais sa représentation imprimée en 3D. Cette première lumière de l'Univers a été émise 380 000 ans après le Big Bang. On y voit des contrastes de densité de la matière, autant de « grumeaux » qui, par la suite, ont évolué en galaxies, amas de galaxies et superamas. **J. I.**

SOURCE : DAVE CLEMENTS, IMPERIAL COLLEGE, LONDRES, ROYAUME UNI.

IMPERIAL COLLEGE LONDON

Un accélérateur pour voir le noyau atomique sous toutes ses coutures



Ligne de transport des faisceaux d'ions sous vide.

ce qui existe actuellement. Il a été inauguré le 3 novembre.

OÙ. Au Ganil, centre de recherche en physique nucléaire du CEA et du CNRS installé à Caen (Calvados), enfoui à 9 mètres sous terre.

POURQUOI. Étudier le noyau atomique dans des conditions extrêmes, et mieux comprendre l'origine des éléments lourds dans l'Univers.

COMBIEN. L'ensemble du projet dénommé « Spiral2 » a coûté 138 millions d'euros. **F. D.**

QUOI. Un accélérateur d'ions lourds long de 40 mètres produisant des faisceaux dix à cent fois plus intenses que

2,05 atmosphères

Record de pression dans un « tokamak »

NUCLÉAIRE Ce résultat a été obtenu au MIT (États-Unis) dans une chambre de confinement magnétique destinée à produire de l'énergie par fusion thermonucléaire. Le tokamak Iter, en construction dans les Bouches-du-Rhône, devrait faire mieux (2,6 atm) dans... une quinzaine d'années. **F. D.**



Le secret : une couche d'or et d'argent recouverte de polymères.

Un nouveau papier électronique coloré

NANOMATÉRIAUX Mise au point à l'école polytechnique Chalmers (Suède), une nanostructure souple de moins d'un micromètre d'épaisseur autorise l'affichage de la même palette de couleurs qu'un écran LED. Selon ses concepteurs, le nouveau matériau constitue la base d'un papier électronique destiné aux écrans extérieurs. **J. I.**

Pourquoi le Falcon 9 a explosé

ESPACE Space X, l'entreprise d'Elon Musk, serait enfin parvenue à identifier la cause de l'explosion du lanceur Falcon 9 sur son pas de tir, le 1^{er} septembre. En cause : une brèche dans des bonbonnes pressurisées à 350 bars qui renferment de l'hélium pour le système de propulsion. Elle pourrait avoir été provoquée par une mauvaise pression ou une mauvaise température lors du remplissage avec l'hélium. **E. L.**



Le son est dû à une décharge électrique suivant une variation de température (ici en Laponie).

Les aurores boréales s'entendent aussi

ASTRONOMIE Les aurores boréales sont bien accompagnées d'un son, et il a fallu trente ans au chercheur finlandais Unto Laine pour en expliquer l'origine. Les aurores sont souvent doublées d'une variation brusque de température qui crée une « couche d'inversion » : une zone de température élevée est piégée

dans un environnement plus froid dans l'ionosphère. Or cette couche de l'atmosphère est caractérisée par les charges électriques qui y circulent. Celles-ci se trouvent piégées et s'accumulent. Finalement, survient une décharge qui produit un son audible depuis le sol. **A. Kh.**

Une mémoire de diamant

MATÉRIAUX

Un diamant pas plus gros qu'un demi-grain de riz peut contenir 100 fois plus d'informations qu'un DVD. Des physiciens l'ont démontré en insérant des atomes d'azote dans la structure cristalline de diamants de synthèse, créant des « trous » capables de piéger des électrons. Deux lasers de couleurs différentes expulsent ou fixent les particules, tandis qu'un troisième « lit » les bits d'information ainsi encodés. **F. D.**

SOURCE : CARLOS MERILES, UNIVERSITÉ DE LA VILLE DE NEW YORK, ÉTATS UNIS.

EN BREF

NOUVEAU TÉLESCOPE. La construction du James Webb Telescope est achevée : il doit succéder à Hubble en 2018. **ORIGINE DU LITHIUM.** Dernier élément à l'origine mystérieuse, le lithium se formerait lors d'explosions d'étoiles en fin de vie. **JUNO.** Après une série de problèmes, la manœuvre visant à placer la sonde Juno en orbite courte autour de Jupiter a été reportée au 11 décembre (*lire p. 44*).

Curiosity bute sur une météorite



La roche est composée de fer, de nickel et de phosphore.

ASTRONOMIE C'est un étrange caillou qu'a déniché le rover Curiosity à la surface de Mars, le 30 octobre. Si son aspect évoque les structures en métal liquide de films de science-fiction tels que *Terminator 2*, cette roche de la taille d'une balle de golf est composée, entre autres, d'un alliage de fer, de nickel et de phosphore, et provient très certainement d'une météorite métallique. **E. L.**

La Lune change de visage tous les 81 000 ans

Des météorites creusent 180 cratères d'au moins 10 m de diamètre chaque année, qui transforment sa surface.

ASTRONOMIE En analysant plus de 14 000 photographies prises par la sonde spatiale LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter), une équipe américaine de l'université de l'État d'Arizona a constaté que 180 cratères d'au moins 10 mètres de diamètre se forment chaque année à la surface de la Lune. Soit un tiers de plus qu'on ne le pensait ! Ils sont produits par des impacts de météorites qui percutent notre satellite de façon régulière. En mars, la sonde a pu également photogra-

pher un cratère lunaire peu après sa formation dans la « mer des Pluies ». Il mesure 18 mètres de diamètre, mais les images indiquent que des fragments ont été projetés à plus de 30 kilomètres du cratère initial. Ces impacts secondaires taillent et remodelent ainsi de larges portions du sol lunaire. Grâce à ces observations, les chercheurs ont calculé que la surface de la Lune était entièrement rebattue tous les 81 000 ans. **F. D.**

Les cratères de la Lune sont produits par l'impact de météorites.



Un ancêtre inconnu chez les Mélanésiens

Outre Neandertal et Denisova, un troisième groupe d'*Homo* était présent dans ces îles du Pacifique Sud.



ERIC LAFFORGUE/GAMMA-RAPHO

L'ADN des Mélanésiens (ici des Papous) garderait la trace d'un mystérieux ancêtre.

PALÉOGÉNÉTIQUE Les habitants de la Mélanésie — région de l'Océanie englobant la Nouvelle-Calédonie, la Papouasie et quelques archipels alentour (Salomon, Vanuatu, Fidji...) — posséderaient de l'ADN d'une espèce d'hominiés encore non identifiée. C'est ce qu'ont suggéré des généticiens de l'université du

Texas (États-Unis) à l'occasion du congrès annuel de la Société américaine de génétique humaine, qui s'est tenu du 18 au 22 octobre à Vancouver (Canada). Jusqu'à présent, les scientifiques estimaient que deux espèces d'*Homo* disparues avaient laissé des traces dans l'ADN des Mélanésiens : Neandertal et Deni-

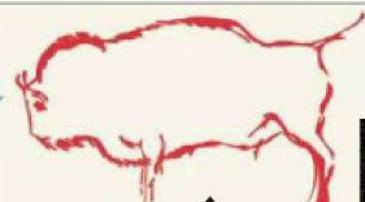
sova, éteints il y a au moins 30 000 ans.

Les chercheurs texans ont découvert ce mystérieux parent en évaluant la proportion de gènes de Denisova chez les Mélanésiens à l'aide d'une modélisation génétique poussée. Ils ont eu la surprise de détecter un taux de gènes de seulement

1,1 %, bien inférieur aux estimations précédentes (entre 1,9 à 3,4 % selon les études). Selon eux, cet écart suggère que les ancêtres des Mélanésiens ont été en contact avec un troisième groupe d'hominiés, probablement issu de la même branche de l'arbre généalogique que Neandertal et Denisova. **L. L.**



Bison des steppes



Bison européen

ADN et peintures révèlent 2 bisons

PALÉONTOLOGIE Une analyse de fossiles révèle qu'au paléolithique deux espèces de bisons cohabitaient en Europe : le bison des steppes (*Bison priscus*) et le bison européen (*Bison bonasus*), fruit d'une hybridation entre le premier et l'auroch (*Bos primigenius*). Les peintures rupestres distinguent bien les deux morphologies. **B. A.**

SOURCE : JULIEN SOUBRIER, UNIVERSITY OF ADELAIDE (AUSTRALIE).

1257, l'éruption gigantesque du Samalas

VOLCANOLOGIE

Le Samalas, situé sur l'île de Lombok, dans les Petites Îles de la Sonde (Indonésie), a été identifié comme le volcan qui a provoqué en 1257 la plus grosse éruption des 7000 dernières années. Elle fut à l'origine d'un refroidissement climatique. **A. Kh.**

SOURCE : CÉLINE VIDAL, INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS.

Le dragon des Pictes d'Écosse

PROTOHISTOIRE

Incisée d'un motif en forme de croix et d'une tête de dragon, une rare stèle picte du VIII^e siècle a été découverte dans une falaise des îles Orcades, au nord de l'Écosse. Elle aurait été dégagée par la mer à la suite d'une tempête. Les Pictes, une confédération de tribus peut-être celtiques, subsistaient encore dans le nord de l'Écosse au X^e siècle. **B. A.**



Datée du VIII^e siècle, la stèle à tête d'animal fantastique a été mise au jour dans une falaise des îles Orcades.

Exploration australienne

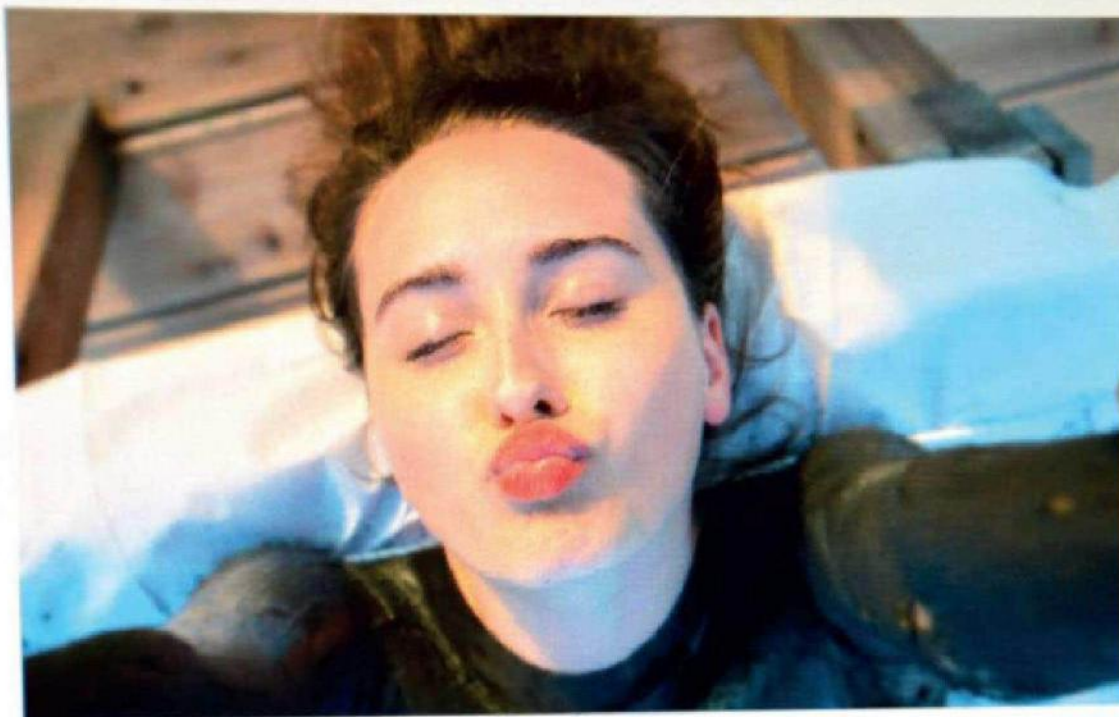
PRÉHISTOIRE

Des fouilles dans la région des Flinders Ranges dans le sud de l'Australie indiquent que presque immédiatement après avoir découvert l'Australie il y a environ 50 000 ans, les humains ont entrepris son exploration. Ils ont ainsi côtoyé la mégafaune, et ont pu jouer un rôle dans son déclin. **J. I.**

SOURCE : GILES HAMM, LA TROBE UNIVERSITY, MELBOURNE, AUSTRALIE.



@chtite_loupiote a ajouté 1 nouvelle photo.
il y a 20 minutes



J'te kiffe tellement @NordnetOFFICIEL. Enfin du Haut-Débit dans mon joli petit bled paumé 😊! #ConnexionsAlternatives #Kiss #CestKiKiVaSeFairePlez?



#HautDébitSansAdsl

Même sans ADSL, Nordnet connecte en Haut-Débit !

Vous êtes inéligible à un ADSL rapide ? Rassurez-vous... Pour vous, Nordnet tire parti des dernières avancées technologiques pour proposer des modes de connexion alternatifs performants. **L'Internet Satellite, le WiMAX** sont autant de technologies disponibles immédiatement, pour **vous connecter en Haut-Débit même sans ADSL**.

Partout en France métropolitaine, nous proposons des offres conçues et développées pour **satisfaire votre expérience de navigation en Haut-Débit**. Elles permettent également d'accéder à des services associés comme **le téléphone ou la télévision par exemple**.

Quels que soient vos besoins de connexion en Haut-Débit, faites confiance à Nordnet, spécialiste de l'Internet depuis 1995.

 **3420** (appel non surtaxé)
www.nordnet.com

.nordnet.
nos solutions Internet vous ouvrent le monde



QUESTIONS À

Philippe Walter

Directeur du Laboratoire d'archéologie moléculaire et structurale (université Pierre-et-Marie-Curie et CNRS), codirecteur d'Opus.

Un observatoire pour le patrimoine

Qu'est-ce qu'Opus ?

Il s'agit de l'Observatoire des patrimoines de Sorbonne universités. Cette nouvelle structure a été créée pour promouvoir les questions liées au patrimoine à travers le regroupement de 70 laboratoires travaillant sur ces thématiques au sein de l'université Pierre-et-Marie-Curie, du Muséum national d'histoire naturelle et de l'université de technologie de Compiègne. Y collaborent des physiciens, des chimistes, des mathématiciens, des archéologues, des historiens de l'art, des philosophes, ou des ethnologues.

Quels sont ses objectifs ?

Il devenait nécessaire, en termes de recherche et d'enseignement universitaire, de travailler transversalement sur les questions de patrimoine : Opus va donc s'intéresser autant aux collections des musées qu'aux parcs naturels ; aux monuments et sites archéologiques comme aux langues autochtones ou aux produits de terroir ; aux traces matérielles du passé ou encore aux génotypes.

Comment réfléchir au patrimoine autrement ?

Il faut y réfléchir de trois manières simultanément. D'abord « sur » le patrimoine lui-même : comprendre comment il s'est constitué — les cathédrales ont été édifiées dans un environnement humain autant que matériel — ; ensuite « pour » le patrimoine : tout ce qui concerne la conservation, documentation, ou valorisation à travers les nouvelles technologies des rayons X à la 3D ; enfin « pourquoi » cette patrimonialisation.

Propos recueillis par B. A.



Les embarcations ornent les parois d'une tombe du cimetière d'Abydos.

Des dessins inédits de bateaux égyptiens

ÉGYPTOLOGIE Plus de 120 représentations de bateaux ont été mises au jour dans le cimetière royal d'Abydos (Égypte). Ils décoraient les parois d'une construction souterraine. Vieux de plus de 3800 ans, le bâtiment contenait aussi les vestiges d'une embarcation à proximité du tombeau du pharaon Sésostri III (XII^e dynastie). B. A.

Jérusalem mentionnée il y a 2700 ans



Le papyrus (un bordereau de livraison pour des jarres de vin) sur lequel Jérusalem est mentionnée en hébreu.

PAPYROLOGIE Un fragment de papyrus du VII^e siècle avant notre ère contiendrait la plus vieille mention de Jérusalem en hébreu. Selon l'Autorité israélienne des antiquités, il s'agirait du premier document non religieux où le nom de la cité apparaît. Des spécialistes précisent néanmoins que cela ne signifie pas que les écrits qui y figurent soient du même âge. B. A.

Un cerveau fossile de dinosaure a été découvert

PALÉONTOLOGIE

Ressemblant à un gros caillou, le premier échantillon fossilisé d'un cerveau de dinosaure a été découvert en Grande-Bretagne. Il appartient probablement à une espèce proche de l'iguanodon, un grand herbivore qui vivait il y a environ 133 millions d'années. Les tissus se seraient minéralisés dans un marais acide et oxygéné peu après sa mort. J. I.

SOURCE : MARTIN BRASIER, OXFORD UNIVERSITY (ROYAUME UNI).

Des bijoux en coquille d'autruche à Denisova

PALÉOLITHIQUE Datées de -45 000 à -50 000 ans, ces extraordinaires perles ont été réalisées avec des coquilles d'œufs d'autruche. Elles ont été retrouvées dans la grotte de Denisova,

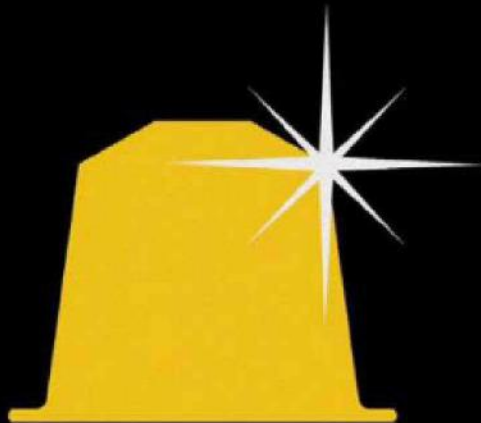
en Sibérie. La même grotte a livré un hominidé d'une espèce différente de la nôtre et, l'été dernier, la plus vieille aiguille à chas connue (47 000 ans). M. N.



Les perles (-50 000/-45 000 ans) ont été mises au jour dans la grotte de Sibérie.

Si les meilleurs caféiculteurs travaillent pour nous c'est aussi parce qu'ils sont mieux payés.

Nous payons nos agriculteurs 30 à 40 % plus cher que le marché et nous les formons à la gestion économique de leur ferme. Nous pérennisons ainsi notre relation et nous facilitons la transmission du savoir-faire entre caféiculteurs. Pour en savoir plus sur les démarches de notre entreprise rendez-vous sur [**www.nespresso.com/entreprise**](http://www.nespresso.com/entreprise)



NESPRESSO.



Les pays présents à la COP22, à Marrakech, ont réaffirmé leur soutien au processus de négociation sur le climat.

La COP22 a gardé le cap, malgré Donald Trump

Les négociateurs réunis au Maroc ont refusé d'imaginer que les États-Unis puissent sortir de l'accord de Paris sur la limitation de la hausse des températures.

ENVIRONNEMENT Le futur président américain Donald Trump, climato-sceptique affiché, a été élu le 8 novembre alors que se déroulait à Marrakech la COP22. Même si un infléchissement de la politique environnementale américaine paraît inéluctable, les négociateurs réunis au Maroc n'ont pas imaginé que la promesse de campagne de quitter

l'accord de Paris soit tenue. Au contraire, la communauté internationale a fait front commun pour faire avancer les débats sur la mise en œuvre des mesures permettant d'atteindre l'objectif de maintien de la hausse des températures mondiales en dessous de 2 °C. Prenant Donald Trump à contre-pied, Britanniques et Allemands ont présenté leur

plan de sortie du charbon, respectivement en 2025 et après 2040. Quant aux pays du Sud, ils vont tenter de réduire l'impact du changement climatique grâce à de nouvelles semences adaptées à la sécheresse ou à des protections contre la montée des eaux. La discussion sur le financement et l'évaluation de ces mesures doit aboutir d'ici à 2018. **L. C.**

1 m²

La surface de banquise détruite par un vol New York-Londres

CLIMATOLOGIE Sachant que l'émission de 1 tonne de CO₂ provoque la disparition de 3 m² de banquise d'été en Arctique, une équipe de l'institut Max Planck (Allemagne) a ainsi évalué les conséquences d'un vol transatlantique sur la surface de mer gelée autour du pôle Nord. **L. C.**

Un sanctuaire marin en Antarctique

OCÉANOGRAPHIE Après des années de négociations, le plus grand sanctuaire marin au monde va être établi en Antarctique, dans la mer de Ross (*lire aussi p. 70*). La zone destinée à protéger des écosystèmes riches de plus de 10 000 espèces s'étendra sur

une superficie d'environ 1,55 million de kilomètres carrés, dont 1,12 million totalement interdits à la pêche. La Russie, dernier pays à s'opposer au projet, a finalement donné son accord le 28 octobre à Hobart, en Australie. **S. R.**



Plus de 10 000 espèces vivent dans les 1,55 million de km² qui vont être protégés.



Une rampe arrière munie de fanons permettra de ramasser débris et microdéchets.

Un quadrimaran pour nettoyer les océans

ENVIRONNEMENT Pour lutter contre la pollution des plastiques dans les océans, le navigateur Yvan Bourgnon, le fondateur de l'ONG Oceanplastic Patrick Fabre, et l'ingénieur naval Jérôme Vollet ont imaginé un « quadrimaran » inédit, baptisé *Manta*. Ce voilier à quatre coques est doté d'une rampe arrière de 72 mètres soutenant des sortes de fanons chargés de ramasser débris et microdéchets sans risque pour la faune. Le début de la construction est prévu en 2019, mais celle-ci dépend encore de la réussite de l'appel à financement sur le site participatif KissKissBankBank. **S. R.**

Les tomates perdent leur goût au frigo

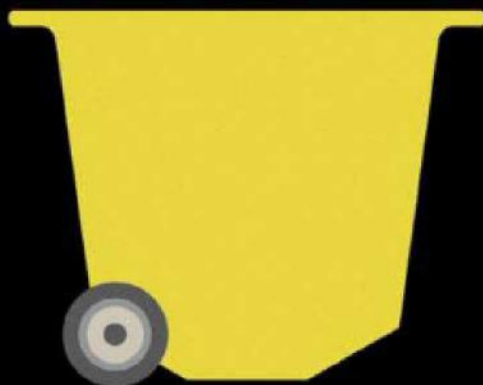
AGRONOMIE Ne jamais mettre ses tomates au frais : ce « conseil de grand-mère » a désormais un fondement scientifique. Après réfrigération, plusieurs centaines de gènes voient leur expression diminuer. Certains sont impliqués dans la texture et les arômes du fruit. Et le retour à la température ambiante ne restaure pas leur activité. **H. R.**



SOURCE : BO ZHANG, UNIVERSITY OF FLORIDA, GAINESVILLE, ÉTATS-UNIS.

Il n'y a pas mieux que l'aluminium pour conserver le café, à condition de savoir le jeter.

Nous avons créé une filière de recyclage des petits emballages en aluminium dans 5 départements qui permet à nos Membres du Club de jeter leurs capsules, chez eux, dans leur bac de tri sélectif, ainsi qu'un réseau de 5 500 points de collecte de capsules usagées dans toute la France. Pour en savoir plus sur les démarches de notre entreprise rendez-vous sur www.nespresso.com/entreprise



NESPRESSO®

Les pies bleues seraient altruistes

Ces oiseaux viennent en aide à leurs congénères sans rien attendre en retour.

ÉTHOLOGIE Alors que les éthologues pensaient que les oiseaux sont indifférents aux besoins de leurs congénères, une équipe de l'université de Vienne (Autriche) révèle que les pies bleues (*Cyanopica cyana*) adoptent des comportements altruistes. Le test est le même que celui que l'on fait passer aux primates. Il s'agit d'un mécanisme de bascule : en se posant sur une perche, une pie peut actionner un levier qui distribue de la nourriture aux autres oiseaux du groupe... sans en bénéficier elle-même. Les pies retournent sur le levier aussi souvent que certains primates et se prêtent à l'exercice même si les autres oiseaux n'appartiennent pas à leur groupe. « Nos résultats semblent corbo-



« *Cyanopica cyana* » serait le seul oiseau à adopter une telle attitude sociale.

rer l'hypothèse que la coopération peut avoir favorisé l'émergence de tendances "prosociales", chez l'humain comme chez d'autres animaux », estime Lisa Horn, qui a dirigé l'étude. **J. L.**

PAROLES

« Voler pendant dix mois sans se poser constitue la plus longue durée enregistrée chez les oiseaux, c'est un record. La distance cumulée des vols équivaut à sept voyages aller-retour jusqu'à la Lune. »

Anders Hedernström, de l'université de Lund, en Suède, commentant les données à propos du vol des martinets, recueillies par les balises posées par son équipe sur ces oiseaux pendant deux ans.

Ces vers à soie qui produisent des fils électriques

BIOMATÉRIAUX Lorsque l'on nourrit des vers à soie avec des feuilles de mûrier recouvertes d'une solution aqueuse contenant des nanotubes de carbone ou du graphène, ils produisent dans leurs glandes salivaires une soie 50 % plus résistante que la soie naturelle. De plus, chauffée à 1050 °C, celle-ci devient un excellent conducteur électrique ! **J. L.**

SOURCE : QI WANG, UNIVERSITÉ TSINGHUA, PÉKIN, CHINE.



Les vers, nourris au graphène et aux nanotubes de carbone, ont produit une soie plus résistante.

La bonne odeur du plastique trompe les oiseaux

ORNITHOLOGIE Si les oiseaux marins se nourrissent de plastique, c'est que celui-ci, lorsqu'il se désagrège, libère un composé chimique, le diméthylsulfure (DMS) que l'on retrouve dans le zooplancton. À court terme, l'ingestion de plastique induit une impression de satiété chez l'animal, qui cesse de manger et finalement... meurt de faim. **J. L.**

SOURCE : MATTHEW SAVOCA, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE, DAVIS, ÉTATS-UNIS.



Les chèvres ont été génétiquement modifiées.

Un cachemire plus fourni

GÉNÉTIQUE Voici l'une des premières applications concrètes de la désormais célèbre technique d'édition du génome CRISPR-Cas 9 : faire naître des chèvres de montagne arborant plus de poils avec lesquels le cachemire est tissé. La méthode : modifier le gène FGF5, identifié sur les chats persans ou les lévriers afghans, qui doivent justement leurs longs poils à ce gène. **P. K.**

Des singes tailleurs de pierres

PRIMATOLOGIE Des chercheurs américains et brésiliens ont découvert que de petits singes, les sapajous à barbe, fabriquent des pierres taillées qui ressemblent à s'y méprendre à celles façonnées par les hominidés. Les sapajous produisent des éclats coupants en frappant deux pierres l'une contre l'autre... puis ils les lèchent. Un comportement inexplicable. **A.-S. T.**

Les sapajous fabriquent des éclats coupants.



MOI PRÉSIDENT,

*je supprime les perturbateurs endocriniens
du paysage et protège grave
les nouvelles générations.*

Et vous ?

CB CHRISTOPHE BACQUET - CRÉDIT PHOTO : DEPOSITPHOTOS / CANALISTOCK

Les perturbateurs endocriniens sont en nous et partout. Votons pour qu'ils soient nulle part.

Les perturbateurs endocriniens sont des substances suspectées toxiques, comme le bisphénol A, les phtalates, les parabènes, les pesticides, etc. Ils perturbent notre système hormonal et nerveux (source Anses). Présents dans notre environnement et dans les produits de consommation, ils induisent, selon la Commission Européenne, des effets néfastes sur notre santé. Exposés à ces substances à notre insu, l'augmentation des cancers et maladies dégénératives n'est pas sans lien.

Soyons les perturbateurs positifs de notre santé.



Plus d'informations sur :
fondationleanature.com

 @FondationLeaNature



générations
FUTURES



La canneberge sans effet sur les infections urinaires

La plante n'aurait pas les qualités acidifiantes sur l'urine qu'on lui prêtait.

Une récente étude met en évidence que les baies de canneberge ne sont efficace ni préventivement ni curativement.

PHARMACOLOGIE La canneberge divise le milieu scientifique depuis plus d'un siècle sur ses vertus médicinales contre les infections urinaires. Mais une nouvelle étude parue dans la revue *JAMA* fin octobre atteste que cette baie, connue aussi sous son nom anglais *cranberry*, n'a aucun effet bénéfique.

Ni à titre préventif ni curatif. L'étude a porté sur 185 femmes âgées (86 ans en moyenne) résidant dans des maisons médicalisées (où les infections urinaires sont plus fréquentes) qui ont reçu soit une capsule de canneberge, soit un placebo, pendant un an. Et d'après les résultats, non seulement la canneberge

n'aurait pas les qualités acidifiantes (et par conséquent antibactériennes) sur l'urine qu'on lui prêtait, mais elle serait aussi dépourvue de capacité « anti-adhésive » sur les parois de la vessie pour les bactéries responsables de la cystite. L'étude n'est pas de grande envergure mais les résultats semblent sans appel. I. J.

La maladie du sommeil sous la peau

PARASITOLOGIE

On le croyait présent uniquement dans le sang. Or le parasite de la maladie du sommeil, le trypanosome, responsable d'environ 7000 cas par an dans le monde surtout en Afrique, se cache aussi sous la peau. Il vient d'y être débusqué par des scientifiques de l'institut Pasteur et de l'Inserm. S. R.-M.



Le trypanosome (en bleu) est le parasite responsable de la maladie du sommeil.



Le stéthoscope digital s'utilise à domicile.

Voici le Dr Smartphone

E-MÉDECINE Examiner les oreilles, la gorge, la peau, le cœur, les poumons et la température grâce un smartphone (et à différents adaptateurs) : c'est ce que permet TytoCare, stéthoscope numérique de fabrication israélienne.

Ce dispositif vient d'obtenir aux États-Unis le feu vert de la Federal Drug Administration. Il en existe deux versions, l'une pour le grand public l'autre à usage professionnel, qui permettront de connecter patients et médecins. S.R.-M.

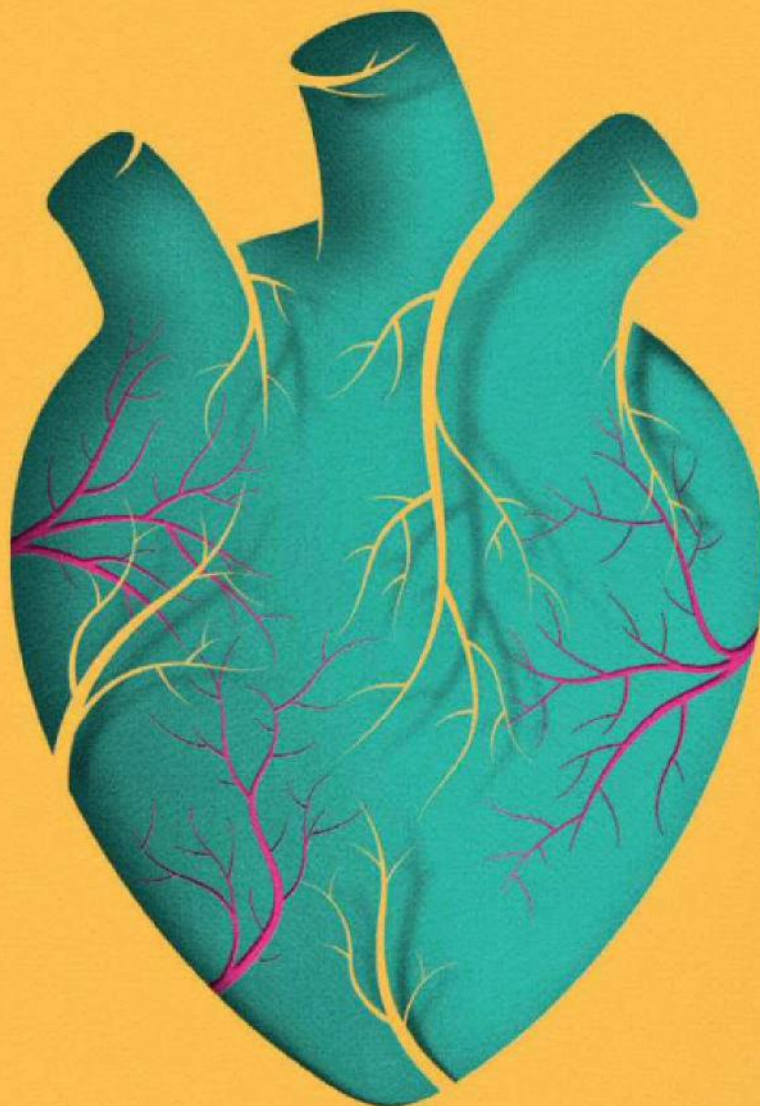
Des singes paralysés remarchent

NEUROTECHNOLOGIE « C'est la première fois qu'une neurotechnologie restaure la locomotion chez des primates », se félicite le Français Grégoire Courtine, professeur en neurosciences à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse). Deux macaques rhésus paralysés des membres inférieurs ont reçu une « interface cerveau-moelle épinière » qui se compose de deux implants reliés par un système sans fil agissant comme une passerelle qui court-circuite la lésion de la moelle épinière. H. J.

L'œil de Lascar



D'APRÈS UNE ÉTUDE INSERM sur 110 000 personnes, près d'un Français sur deux âgé de plus de 30 ans est concerné par un excès de poids, et l'obésité avoisinerait les 16 %. O. L.



VOUS ÊTES DONNEUR. SAUF SI VOUS NE VOULEZ PAS ÊTRE DONNEUR.

La loi fait de chaque Français un donneur d'organes et de tissus présumé. On peut être contre bien sûr, et dans ce cas il faut le faire savoir. La meilleure façon est de s'inscrire sur le registre national des refus. Mais vous pouvez aussi exprimer votre opposition à vos proches (par écrit ou par oral). Pour toute question sur le registre national des refus ou les autres modalités d'expression du refus, rendez-vous sur dondorganes.fr

DONDORGANES.FR

0 800 20 22 24 Service & appel gratuits

**DON D'ORGANES
TOUS CONCERNÉS**

**Agence de la
biomédecine**
Agence relevant du ministère de la santé

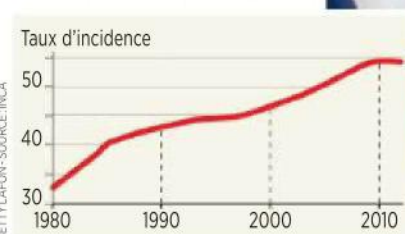
Davantage de cancers du sein chez les femmes de moins de 50 ans

Si la fréquence globale de cette tumeur diminue, elle augmente de façon importante dans cette classe d'âge.

ÉPIDÉMIOLOGIE D'après l'Institut national du cancer (INCa), si l'incidence globale du cancer du sein diminue depuis 2005, elle augmente de façon importante chez les 30-39 ans et les 40-49 ans. Cette population n'étant pas concernée par le dépistage organisé, l'augmentation n'est pas due à un surcroît d'attention médicale. Catherine Hill, responsable du service de biostatistique et

d'épidémiologie à l'Institut Gustave-Roussy (Villejuif, Val-de-Marne) y voit un « *mystère épidémiologique* ». Pour Bernard Asselain, ancien responsable du pôle épidémiologie à l'Institut Curie (Paris), l'explication pourrait résider dans la précocité des premières règles et le recul de l'âge de la première grossesse : « *Entre les premières règles et la première grossesse, l'imprégnation œstrogé-*

nique est forte. Cette période s'est allongée, augmentant le risque de cancer. Mais dans l'immense majorité des cas, l'apparition d'un cancer est multifactorielle. » **H. J.**



Chez les 30-39 ans, le taux d'incidence du cancer a crû de 59 % en 30 ans.

EN BREF

CIGARETTES MUTAGÈNES. Des médecins britanniques et américains ont révélé que la consommation d'un paquet de cigarettes par jour provoque plus de 300 mutations génétiques chaque année dans différents organes. **BONS MENTEURS.** Selon une méta-analyse, dans 53 % des cas, les adultes n'arrivent pas à déceler les mensonges de leurs enfants. **IMMUNITÉ NÉANDERTALIENNE.** La différence des réponses immunitaires entre Européens et Africains s'expliquerait par le petit héritage génétique néandertalien chez les Européens.



Le virus de l'hépatite C vu pour la première fois au microscope électronique.

L'hépatite C se dévoile

VIROLOGIE C'est une première mondiale, et elle est française. Le virus de l'hépatite C a pu être visualisé au microscope par une équipe Inserm de l'université de Tours. Depuis 1990, on ne le connaissait et ne l'étudiait que par la biologie moléculaire, sans parvenir à l'isoler sous l'œil du microscope. Finalement, « *il ressemble à une simple petite sphère blanche au milieu d'autres sphères blanches lipidiques dans le sang* », explique Jean-Christophe Meunier, auteur des travaux. **H. J.**

Ebola a muté durant l'épidémie

INFECTIOLOGIE Au cours de l'épidémie d'Ebola en Afrique de l'Ouest de 2013 à 2016, une forme du virus plus apte à infecter les cellules humaines

est apparue dès 2014. Une mutation sur une protéine de l'enveloppe du microbe a multiplié par deux son pouvoir infectieux dans des cellules humaines et

l'a réduit dans des cellules de chauve-souris frugivore, vecteur initial du virus. **P. K.**

SOURCE : RICHARD URBANOWICZ, THE UNIVERSITY OF NOTTINGHAM, ROYAUME-UNI.

Le plaisir de détester le fromage

NEUROPSYCHOLOGIE Être dégoûté par l'odeur et la vue d'un fromage procurerait un certain plaisir ! En effet, les mécanismes cérébraux de cette aversion seraient intimement liés au système de récompense, d'après des études en imagerie. Les chercheurs pensent que deux types de neurones aux activités complémentaires coexistent. **H. J.**

SOURCE : JEAN-PIERRE ROYET, CENTRE DE RECHERCHE EN NEUROSCIENCES, LYON.



L'aversion pour le fromage est liée au système de récompense.



CHYPRE

Du soleil adoré

aux lieux sacrés
en un rien de temps.

Aphrodite, déesse de la beauté, a émergé des eaux turquoise de Chypre. Ici, les splendeurs d'anciennes civilisations se mêlent parfaitement aux plus belles plages de la Méditerranée. Contemplez Chypre ; promenez-vous en bord de mer, visitez ses exceptionnels sites archéologiques, laissez les rayons du soleil vous porter vers la découverte d'une culture qui a illuminé le monde. Écoutez votre cœur et explorez toutes les richesses de l'île. Imprégnez-vous: à Chypre, tout n'est que beauté et émotion.

www.visitcyprus.com



Chypre
de cœur



Union Européenne
Fonds européen
de développement régional



République de Chypre



Fonds structurels
de l'Union Européenne à Chypre

Potentiellement éligible pour cofinancement par le Fonds européen
de développement régional (FEDER)

Des handicapés prennent le contrôle d'un robot à distance

Les signaux électriques du cerveau ont été en instructions de mouvement par un a

CYBERNÉTIQUE Trois personnes handicapées, souffrant de lésions de la moelle épinière, ont réussi à transmettre par la pensée des ordres à un robot situé à distance, parvenant ainsi à lui faire saisir une cannette de soda et à la lui faire poser sur une table.

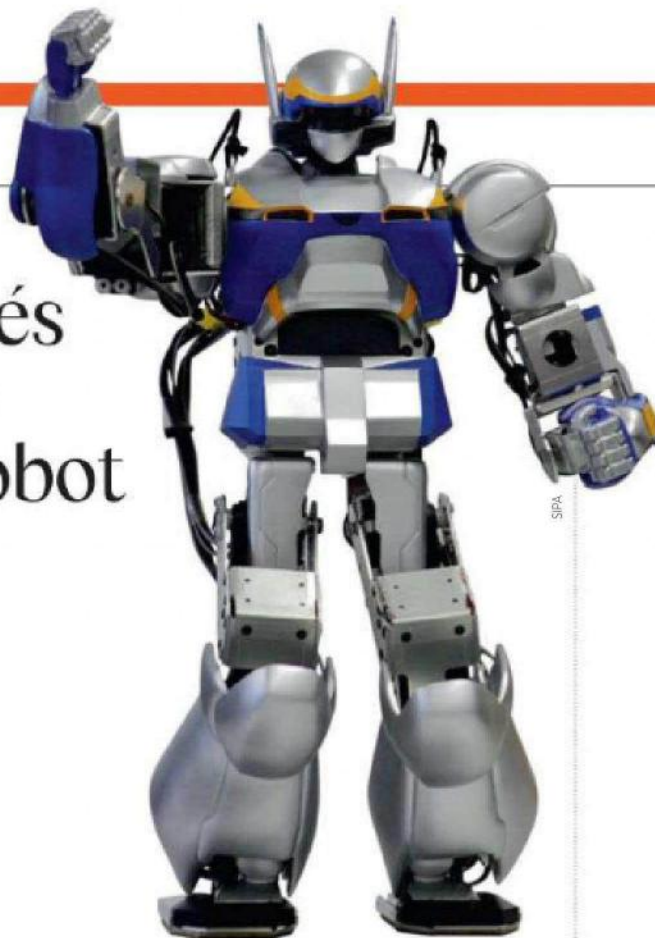
Les patients, participant au projet européen VERE (Virtual Embodiment and robotic Re-embodiment) se trouvaient à l'université de Rome (Italie). Le robot, quant à lui, était situé au laboratoire de robotique de Tsukuba, au Japon. La connexion

s'est faite directe d'un phallographe transmis les triques émis des personnes lorsqu'elles se sur une acti réel, un écran de voir les instructions qu'elles transmettaient en direct au robot. Celles-ci étaient matérialisées par des flèches directionnelles, superposées aux images prises par une caméra fixée à l'humanoïde. Ainsi, lorsque le patient se focalisait sur l'une

HRP 2, l'humanoïde du laboratoire de robotique de Tsukuba (Japon) a obéi à des ordres donnés depuis Rome.

d'entre elles en particulier, un signal cérébral était identifié, transformé aussitôt en instruction de mouvement par un algorithme.

A. D.



SIPA

épinards ectent s explosifs

SÉCURITÉ

En intégrant des nanotubes carbone dans des d'épinaerde commune laboratoires che —, des rs du MIT ge, États-Unis) ansformées eur de s chimiques tiques s. En leur les nanotubes un signal nt. Une simple nfrarouge permet urveiller urvement

et les sols. O. H.

500

Le nombre record de drones à voler en essaim

ROBOTIQUE Dans la ville de Krailling, au sud de l'Allemagne, le fabricant de semi-conducteurs américain Intel est parvenu à faire voler pendant une minute un gigantesque essaim de 500 machines volantes pilotées depuis un ordinateur. Munies chacune de diodes lumineuses, les machines ont dessiné des motifs dans le ciel nocturne. E. L.

Les caméras surveillent les signaux vitaux à l'hôpital

MÉDECINE Les capteurs au bout des doigts, les patches placés sur la poitrine des patients hospitalisés ont peut-être vécu : Oxehealth, une start-up issue de l'université d'Oxford (Royaume-Uni), teste sur des patients la surveillance de signes vitaux à partir d'une simple caméra. Grâce à des



Le système contrôle entre autres la teinte de la peau.

technologies de traitement d'images et du signal, le système scrute la teinte de la peau ou les mouvements de la cage thoracique afin de détecter une anomalie dans le pouls, l'oxygénation du sang ou le rythme cardiaque. A. D.

OXEHEALTH



Voici le casque de vélo en réalité augmentée

TRANSPORT Ce n'est pour le moment qu'un concept, mais il vient de remporter un Red Dot Design Award, un prix qui récompense depuis 1955 les concepts les plus innovants, à Essen (Allemagne). L'Optic Helmet est un casque de vélo pourvu d'une visière transparente rétractable dont la fonction principale est d'afficher des informations devant les yeux : itinéraire, vision arrière, rythme cardiaque, etc. E. L.

DCA



Tech

Une Big Définition pour mes Big Soirées TV

Une image
4x plus nette
en
Ultra HD

Avec la Fibre,
100% Fibre

BigNoel.fr

orange™

Offre soumise à conditions valable en France métropolitaine, sous réserve d'éligibilité. Ultra HD (4K) avec décodeur TV4 et offres, téléviseur et contenus payants compatibles. Big = Grand.

Le bois fait pousser des immeubles

Les projets de bâtiments de grande hauteur en lamellé-collé, qui offre des structures très résistantes, se multiplient en France.



PHOTOS: JP VIGUIER ET ASSOCIÉS, ART & BUILD / STUDIO BELLECOUR, ARCHITECTURE STUDIO, JP VIGUIER ET ASSOCIÉS, ART & BUILD / STUDIO BELLECOUR, ARCHITECTURE STUDIO



La tour Hypérion (Bordeaux), le Palazzo Méridia (Nice), la tour Silva (Bordeaux) et l'îlot Port du Rhin (Strasbourg) seront construits à partir de 2017.

CONSTRUCTION Ce ne sont pas moins de 36 immeubles de grande hauteur en bois (plus haut que les 20 mètres des bâtiments haussmanniens) qui vont être construits à partir de 2017 en France. Jamais les promoteurs n'avaient autant utilisé ce matériau dans le monde.

Ces réalisations de 11 étages en moyenne (18 pour le projet Hypérion à Bordeaux) sont situées dans 12 régions. Elles sont en priorité destinées à créer une nouvelle filière pour la production nationale de bois d'œuvre et d'industrie qui a dépassé en 2015 35 millions de

mètres cubes, mais qui stagne depuis. Cette démarche architecturale est aussi un moyen de lutter contre le réchauffement climatique. Selon les calculs de l'Ademe, un mètre cube de bois stocke en effet une tonne de CO₂ atmosphérique. Ainsi, chaque réalisation va pié-

ger 2000 tonnes de carbone (soit ce qu'émettent en un an 2500 voitures de petite cylindrée). Ces nouvelles constructions ont été rendues possibles grâce à la technique du lamellé-collé qui permet de créer des structures très résistantes à la charge et au feu. **L. C.**

EN BREF

TESLA AUTONOMES. Le système de conduite autonome de Tesla est intégré à toutes les voitures de la marque et pourra être activé en 2017. **JUSTICE ALGORITHMIQUE.** Des chercheurs britanniques et américains ont conçu un algorithme capable de deviner l'issue des jugements rendus à la Cour européenne des droits de l'homme avec un taux de réussite de 79 %. **ROBOTS INSECTES.** Des documents déclassifiés ont révélé que l'armée américaine s'inspire des insectes à des fins d'espionnage depuis au moins 70 ans.

La moto du futur de BMW

TRANSPORTS C'est à l'occasion des 100 ans de BMW que le constructeur allemand a présenté le « BMW Motorrad Vision Next 100 ». Sa principale particularité : un dispositif d'auto-équilibrage (dont la nature n'est pas précisée) garantirait la stabilité de

l'engin à l'arrêt comme dans les virages au point que le casque ne serait plus indispensable. Quant au tableau de bord, il est déporté en réalité

augmentée sur une visière. **E. L.**

Des aides à la conduite équilibrent automatiquement la moto en cas de problème.



Des robots mous à la place des muscles

CYBERNÉTIQUE À l'École polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse), un laboratoire de robotique a conçu une ceinture abdominale faite de tubes de caoutchouc mus par injection d'air sous pression. Entourés d'une fibre non-étirable permettant de les contrôler, ces tubes exercent une série de pressions-relâchements imitant l'action des muscles. Ils pourront servir dans le cadre de rééducations à la suite d'une blessure ou intégrés dans un exosquelette. **A. D.**



Le robot a reproduit les gestes sans avoir été programmé.

L'intelligence artificielle joue au Lego

ROBOTIQUE Portant sur eux des repères pour enregistrer leurs mouvements (*motion capture*), deux chercheurs de l'École des mines de Freiberg (Allemagne) ont monté une fusée en Lego devant un

bras robotisé industriel équipé d'une caméra 3D Kinect qui les filmait. Le robot a ensuite remplacé l'un des deux hommes et s'est montré capable de reproduire les gestes, sans avoir été programmé. **A. D.**

ÉVÉNEMENT

LA CROISIÈRE ISLANDE

DU 30 JUIN AU 10 JUILLET 2017 AU DÉPART DE PARIS

TERRE DE GLACE ET DE FEU

Embarquez avec



*Croisières
d'exception*

Une découverte en profondeur de **l'Islande**
à la **meilleure période de l'année** en compagnie de
nos experts conférenciers à bord d'un navire élégant
et luxueux, le **Ocean Diamond** (100 cabines seulement).

300 € de réduction par pers. pour toute réservation
avant le 20 janvier 2017 avec le code : REVE.

Une croisière exceptionnelle
de 11 jours et 10 nuits au départ de Paris



RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS



Connectez-vous sur www.croisieres-exception.fr/islande



Appelez au 01 75 77 87 48 Du lundi au vendredi de 9h30 à 13h et de 14h30 à 18h30



Par email : islande@croisieres-exception.fr

Renvoyez ce coupon complété à :

Croisières d'exception - 77 rue de Charonne - 75011 Paris

☐ Mme ☐ M. Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville :

Date de naissance : Tél. :

Email :

Vous voyagez ☐ seul(e) ☐ en couple

☒ **Oui, je bénéficierai d'une offre spéciale (- 300 € par personne) en cas de réservation
avant le 20 janvier 2017 avec le code REVE**

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès, de modification et de rectification des données vous concernant.
Croisières d'exception / Licence n° M4075150063 - Itinéraire sous réserve de modifications de l'armateur. Les invités seront présents sauf cas de force majeure.
Programme garanti à partir de 40 inscrits - Création graphique : multioptimisme.fr - Crédits photos : © iStock, © Shutterstock

Croisières d'exception



se-1612

Bien dormir à tous les âges

Le sommeil est un besoin physiologique incontournable car nos capacités d'apprentissage et notre santé en dépendent. Comment aider les enfants à déconnecter ? Peut-on combattre l'insomnie chez les adultes ? Comment retrouver un sommeil apaisé avec l'âge ? Les réponses dans ce dossier spécial pour (ré)apprendre à bien dormir.

DOSSIER RÉALISÉ PAR
Sylvie Riou-Milliot et
Elena Sender

DORMIR OCCUPE UN TIERS DE NOTRE TEMPS, soit un total de vingt-cinq ans consacrés au sommeil à 75 ans ! Ces moments d'abandon sont réglés par des gènes dits horloge mais aussi par nos rythmes de vie. Las ! nous dormons une heure et demie de moins que nos grands-parents et deux Français sur trois déclarent même mal dormir. Le sommeil est pourtant un besoin physiologique incontournable, qui varie considérablement au cours de l'existence. De 17 heures à la naissance à 7 heures pour les adultes avec des caractéristiques

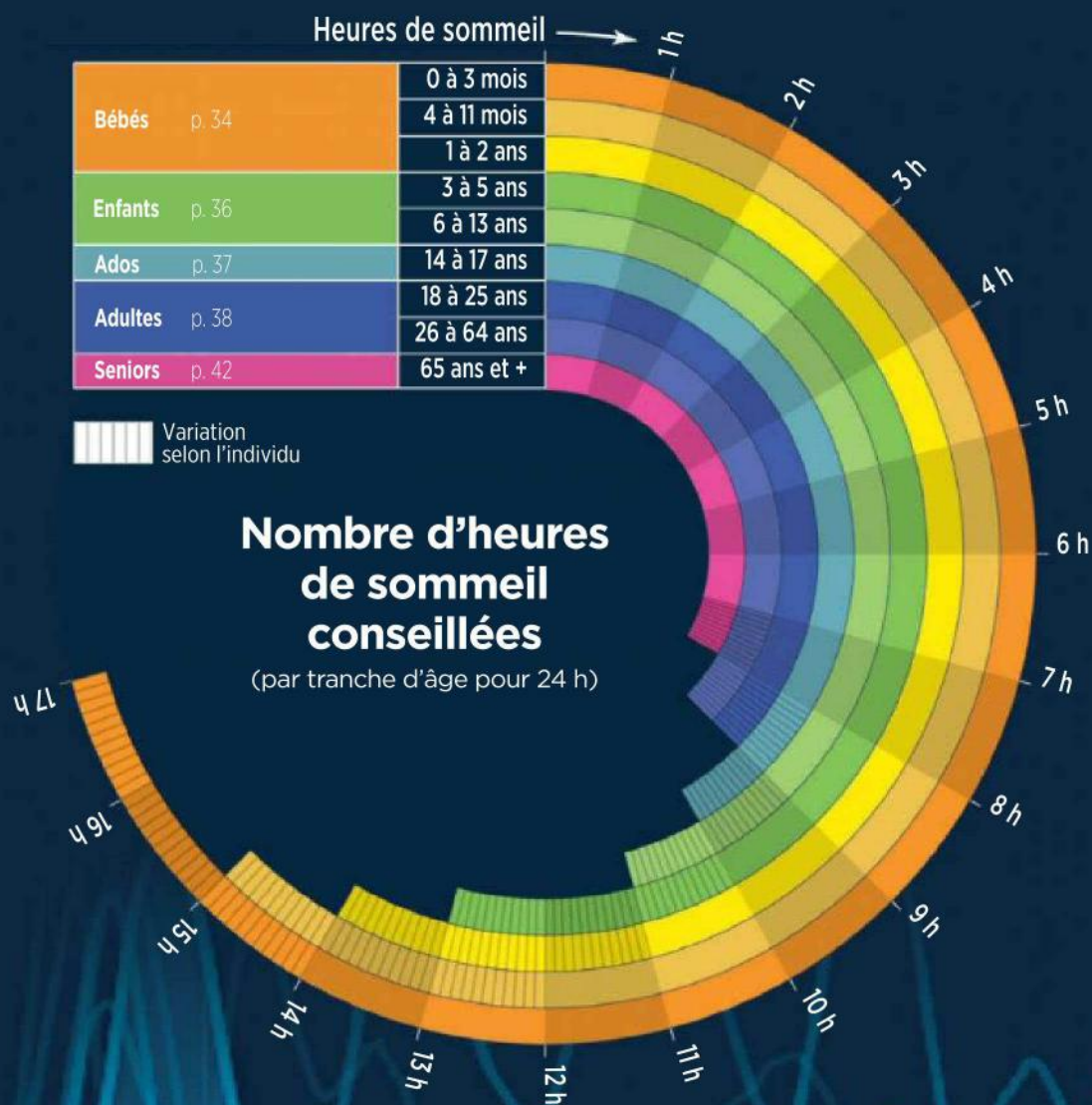
très diverses d'un âge à l'autre qu'il convient de respecter (*voir illustration ci-contre*). Nos capacités d'apprentissage et notre santé en dépendent ! Des études commencent ainsi à montrer que le risque d'obésité, de diabète voire de cancer est amplifié par une dette de sommeil. Pourtant, notre société tend à le considérer comme une parenthèse inutile. Et les obstacles aux nuits réparatrices sont nombreux : stress, anxiété, nuisances sonores... Autant d'aléas qui font le lit de l'insomnie et facilitent l'entrée dans la spirale infernale des somnifères. Alors, prenons conscience de l'importance du sommeil. ■

S. R.-M. ►

SOMMEIL LENT LÉGER Stade durant lequel on se réveille encore facilement. Il représente environ 50 % du sommeil total (réparti en 4 à 6 cycles de 90 min environ).

SOMMEIL LENT PROFOND Stade durant lequel le réveil est difficile. C'est le moment où le corps reconstitue ses forces. Il représente 20-25 % du sommeil total.

SOMMEIL PARADOXAL Stade durant lequel le dormeur présente à la fois des signes d'endormissement profond et d'éveil. Il représente 20-25 % du sommeil total.



BÈBÉS

50

minutes c'est la durée d'un cycle de sommeil chez le bébé (90 min pour un adulte)

Entre 1 et 3 ans, un bébé se réveille trois fois par nuit en moyenne

CARACTÉRISTIQUES

- ▶ Apparition des cycles jour-nuit
- ▶ Réduction progressive du sommeil diurne et du sommeil agité

RECOMMANDATIONS

- ▶ Toujours respecter le temps de sommeil du bébé
- ▶ Ne pas le réveiller
- ▶ Le faire dormir dans une chambre calme, obscure, pas trop chaude
- ▶ Le coucher éveillé après un rituel calme (bain, histoire...)
- ▶ Assurer la régularité du coucher, toujours entre 20 et 21 heures au plus tard

Un temps indispensable à la maturation du cerveau

Le repos favorise de nombreuses fonctions mentales et psychiques comme l'apprentissage, le langage, la mémoire, l'humeur et les émotions.

DORMIR COMME UNE BÛCHE, un loir ou... un bébé ! Autant d'expressions populaires qui évoquent ce sommeil lourd d'excellente qualité auquel les petits s'abandonnent naturellement. Soit 16 à 17 heures à la naissance, et de 11 à 13 heures à l'âge de 4 ans. Si certains nourrissons sont capables de faire presque un tour de cadran, d'autres sont plus actifs et rétifs aux siestes, au grand dam des parents... Des variations en partie dictées par plusieurs gènes dits horloges. Identifiés ces dernières années, ils sont, dès le plus jeune âge, les chefs d'orchestre de nos nuits. Ce sont eux qui distinguent les « petits » des « gros » dormeurs, des différences que les parents doivent apprendre à identifier et respecter.

Mais que le sommeil soit diurne (siestes du matin et de l'après-midi) ou nocturne, il est toujours à cet âge un acteur de première importance dans le développement général de l'enfant. « *Il favorise de nombreuses fonctions mentales et psychiques comme la mémorisation, l'apprentissage, le langage, mais aussi les émotions et la régulation de l'humeur* », détaille Dominique Petit, chercheuse au Centre d'études avan-

cées en médecine du sommeil (Céams) de l'université de Montréal (Canada).

Ces heures d'abandon sont en effet essentielles à la maturation du cerveau. Dès le plus jeune âge, les deux grands types de sommeil, profond (calme) et agité, qui deviendront respectivement lent et paradoxal chez l'adulte (voir *lexique* p. 32) sont présents avant que leur répartition et organisation soient soumises à de profonds remaniements durant les trois premières années de vie. Les rythmes circadiens (alternance jour/nuit) se mettent peu à peu en place, le repos diurne se réduit, et le sommeil agité est rapidement divisé par deux, pas-

sant de 65 % à la naissance à 30 % à 6 mois-1 an, et se rapprochant ainsi progressivement de la proportion chez l'adulte. C'est d'ailleurs à 6 mois qu'un nourrisson devient capable de « faire ses nuits » en dormant au moins six heures d'affilée. « *Dès lors, l'endormissement ne se fait plus directement en phase paradoxale, comme chez le tout-petit, mais plutôt en sommeil calme, lent et profond, là encore adoptant tranquillement l'organisation du sommeil de l'adulte* », explique Dominique Petit.

L'attitude des parents est un facteur primordial

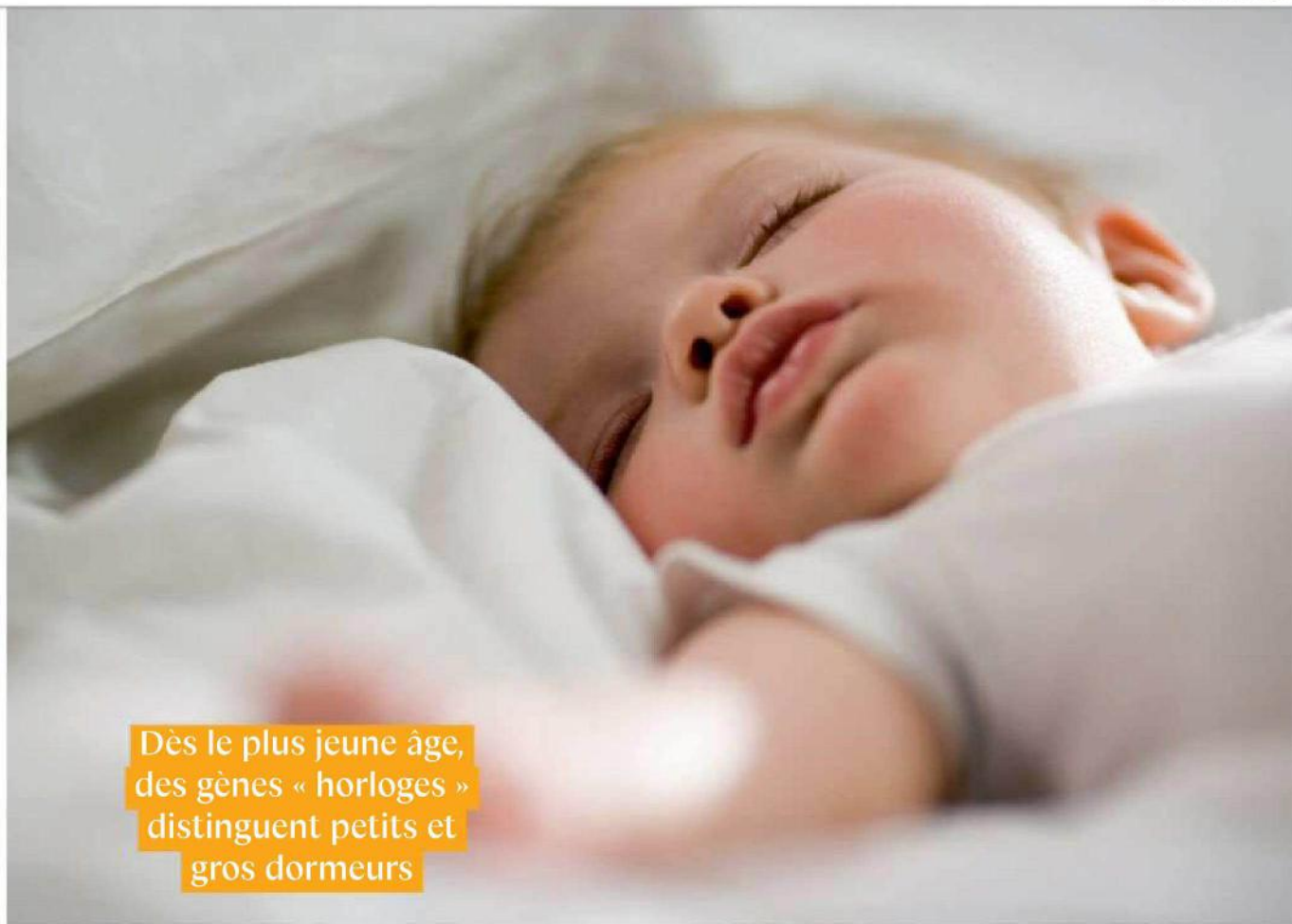
Physiologie et facteurs génétiques ne sont cependant pas seuls à régir

PÉRINATALITÉ

Le fœtus dort pendant l'accouchement

Pas encore né mais déjà totalement indépendant. Tout au moins sur le plan du sommeil. Le fœtus, qui dort presque sans arrêt dans le ventre de sa mère, fonctionne de manière totalement désolidarisée des phases d'éveil ou de sommeil





Dès le plus jeune âge, des gènes « horloges » distinguent petits et gros dormeurs

GETTY IMAGES

le temps de repos. Le nourrisson devient aussi de plus en plus dépendant de facteurs environnementaux : prises alimentaires (tétée ou biberons), jeux, promenades... sans oublier son tempérament propre. Le comportement

des parents est aussi — et surtout — un élément primordial. « *Leur attitude au moment du coucher est déterminante car elle permettra ou non à l'enfant de s'autonomiser face au sommeil*, poursuit la spécialiste. *Tout se joue finalement*

de celle-ci car rien ou presque ne le dérange ! D'ailleurs, que fait-il pendant l'accouchement ? Il dort à poings fermés. Et ce n'est qu'au moment des contractions les plus puissantes et à l'instant de l'expulsion qu'il daigne se réveiller. Les chercheurs ont ainsi établi que les états de vigilance du bébé s'organisent dès la période fœtale. La maturation du sommeil dépend en effet de celle du cerveau (et *vice versa*) et s'effectue

de manière progressive. Immergé dans l'obscurité du liquide amniotique, le fœtus ne possède pas encore de rythme circadien (alternance jour/nuit) et n'est pas calé sur 24 heures. Une certaine organisation existe néanmoins : vers la 24^e semaine de vie intra-utérine (5^e mois de grossesse), une alternance de périodes d'activité et d'agitation s'établit. Un pic d'activité motrice fœtale est ainsi détecté entre

21 heures et minuit, à un moment peu apprécié des mères qui, elles, tentent à ce moment-là de se reposer ! Puis c'est à partir de la 28^e semaine (6^e mois de grossesse) qu'apparaît le sommeil agité avant le sommeil calme vers la 30^e semaine. Enfin, vers 36 semaines (8 mois de grossesse), les deux types de sommeil alternent régulièrement, la phase d'agitation restant très importante (65 % du temps de repos).

M. EDELHART/PHOTOUJ/GAMMA-RAPHO

avant 3 ans ! » La mise au lit ne doit ni être retardée (entre 20 et 21 heures maximum), ni s'éterniser. Aux parents de savoir quitter la chambre à temps. Car l'enfant qui a appris à s'endormir seul est capable en cas d'éveil nocturne — une situation fréquente, en moyenne trois fois par nuit entre 1 et 3 ans —, de se rendormir sans aide. Résultat : il s'autoapaisera et il aura acquis un profil de « bon » dormeur à la différence du « mauvais dormeur » qui signalera ses réveils nocturnes par des pleurs augmentant ainsi son temps d'éveil du fait d'une interaction prolongée avec un parent... Mieux vaut donc coucher les jeunes enfants après un rituel calme et réconfortant, les laisser dormir en respectant leur sommeil naturel et ne pas forcer les siestes, au risque d'en faire des insomniaques à l'âge adulte. ■

S. R.-M. ►

ENFANTS

Les longues nuits réparatrices aident à l'apprentissage

Trop d'enfants dorment mal ou pas assez longtemps. Une situation inquiétante car ses effets délétères à court et long terme sont avérés.

**11h
de repos**

par nuit sont nécessaires entre 6 et 13 ans

CARACTÉRISTIQUES

- ▶ La longueur des nuits se réduit
- ▶ Le temps d'endormissement s'allonge
- ▶ Les siestes disparaissent

RECOMMANDATIONS

- ▶ Arrêt des activités sur écran au moins 1 heure avant la mise au lit
- ▶ Pas d'écrans (télévision, ordinateur, tablette, téléphone) dans les chambres
- ▶ Coucher l'enfant à horaires réguliers
- ▶ Être attentif aux signes du manque de sommeil : changement de comportement, irritabilité, mauvaise humeur au réveil...

« LES CLASSES SONT PLEINES D'ENFANTS QUI BÂILLENT et d'adolescents aux yeux mi-clos », écrivaient en septembre les auteurs du rapport de Terra Nova dans une tribune (1). Jusque vers l'âge de 13 ans, presque la moitié d'une journée (11 heures) devrait être passée à dormir ! Or, pour atteindre ce quota, l'école démarrant à 8 heures pour les collégiens et à 8 h 30 pour les plus jeunes, sans compter le temps de transport, il faudrait idéalement coucher les enfants à 20 h 30. Un défi difficile à relever dans de nombreuses familles. À partir de 5 ans, le sommeil évolue normalement vers une réduction de la longueur des nuits et, en général, les siestes ont disparu. Mais plus les enfants grandissent, plus l'heure du coucher se fait tardive et plus le déficit de sommeil est — mal — compensé par les grasses matinées des week-ends et des vacances. « Les enfants scolarisés se couchent trop tard, confirme Dominique Petit, coordonnatrice du Réseau canadien sur le sommeil et les rythmes biologiques à l'hôpital du Sacré-Cœur à Montréal (Canada). Par ailleurs un enfant en bas âge sur quatre (de 1 à 4 ans) dort mal. Pour deux raisons principales : les difficultés d'endormissement et les réveils nocturnes, appelés dyssom-



Il faut coucher les enfants à 20 h 30. Un impératif pour leur métabolisme

nies, ainsi que les parasomnies, soit les terreurs nocturnes, le somnambulisme et l'énurésie. »

Une durée insuffisante de repos est d'autant plus inquiétante que les effets délétères à court et plus long terme sur les jeunes cerveaux en maturation sont désormais bien connus : difficultés d'apprentissage scolaire (problèmes d'attention, de concentration, de mémorisation) mais aussi hyperactivité, impulsivité, retard de langage, troubles de l'humeur, sans parler de la prise de poids, du diabète... « Depuis près de dix ans, les études s'accumulent et les preuves d'un lien entre durée de som-

meil et fonctions métaboliques sont aujourd'hui fortes », insiste le Dr Véronique Viot-Blanc, du Centre du sommeil de l'hôpital Lariboisière (Paris).

Autre responsable avéré du déficit de repos chez les enfants d'âge scolaire, l'omniprésence des écrans en soirée (lire ci-contre). Un collégien sur quatre garde ainsi son mobile allumé toute la nuit, selon une étude (2) ! En fait, « l'éducation sur ce thème, même minimale, est inexistante et pour beaucoup de parents, l'objectif est d'intégrer aussi rapidement que possible le rythme de vie familial, sans distinction des besoins en fonction de l'âge », précisent les auteurs du rapport de Terra Nova. Qui poursuivent : « L'hygiène du sommeil s'apprend et les interventions parentales trop rares ou trop fréquentes, souvent mal dirigées, ne sont pas favorables à la mise en place d'un repos de qualité. »

Les spécialistes font plusieurs propositions, telle l'instauration, dès 6 ans, d'un temps d'éducation sur ce thème dans le cadre scolaire, comme cela se fait pour la nutrition ou la santé bucco-dentaire. Objectif : informer les plus jeunes pour qu'ils n'aient pas le même regard dévalorisant sur le sommeil que la génération précédente ! ■

S. R.-M.

(1) Libération, 19 septembre 2016.

(2) Réseau Morphée et association e-Enfance.

ADOS



Les adolescents
sont de gros
dormeurs décalés

36 %
des Français,

principalement les jeunes, utilisent un ordinateur, une tablette ou un smartphone dans leur lit

5 %
des adolescents

seraient « accros » aux jeux vidéo (source : OFDT)

26 %
des collégiens gardent leur téléphone allumé la nuit (source : réseau Morphée)

RECOMMANDATIONS

► S'équiper le soir de lunettes orangées ou d'applications qui filtrent la lumière bleue des écrans (smartphone, tablette...)

► Éteindre les écrans deux heures avant le coucher

► S'exposer au maximum à la lumière du jour car le manque de lumière solaire rend encore plus sensible à la lumière des écrans

DR CLAUDE GRONFIER NEUROBIOLOGISTE À L'INSERM (UNITÉ 846, BRON),
VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ FRANCOPHONE DE CHRONOBIOLOGIE

« Les écrans créent une excitation
peu propice à l'endormissement »

En quoi le sommeil des adolescents est-il caractéristique ?

L'adolescent a un gros besoin de sommeil, entre 8 et 10 heures par nuit en moyenne, qui n'est souvent pas assouvi. D'autre part, son sommeil se décale progressivement : il se couche et se lève de plus en plus tard ! Ce qui n'a rien à voir avec de la fainéantise. L'horloge interne circadienne, localisée dans le noyau suprachiasmatique du cerveau, régule un ensemble de rythmes, dont celui du sommeil. Chez l'adolescent, elle fonctionne plus lentement que chez l'adulte, déclenchant l'endormissement plus tard. Un phénomène extérieur vient amplifier ce retard. Les adolescents sont de grands utilisateurs de smartphone ou ordinateur avant le coucher. Or la lumière des écrans entraîne une excitation psychologique non propice à l'endormissement et a le soir des effets retardateurs sur l'horloge biologique.

Comment la lumière des écrans empêche-t-elle le cerveau de s'endormir ?

La lumière à LED des écrans

rétroéclairés est une lumière froide qui est riche en longueurs d'onde bleues. En 2002, ont été découvertes dans la rétine des cellules dites ganglionnaires à mélanopsine qui, lorsqu'elles sont stimulées par la lumière du jour, transmettent un message nerveux au noyau suprachiasmatique, ainsi qu'à des structures cérébrales impliquées dans la veille, l'humeur et la cognition. L'éveil et la vigilance sont alors augmentés, le sommeil inhibé et l'horloge retardée. Comme ces cellules ganglionnaires à mélanopsine sont hypersensibles à la lumière bleue, l'exposition à un écran la nuit, même durant quelques secondes, perturbe le sommeil et l'horloge biologique.

Lire paisiblement un livre électronique perturbe donc le sommeil ?

Oui ! En 2014, Anne-Marie Chang, de la Harvard Medical School (États-Unis), a fait lire un livre à 12 volontaires pendant 4 heures avant le coucher, soit sur une tablette soit sur papier, durant cinq soirs

consécutifs. Ceux qui lisaient sur écran ont mis plus de temps à s'endormir, ont réduit leur sécrétion de mélatonine et leur vigilance en a été diminuée le matin. En analysant le taux de mélatonine sanguin, révélateur de l'heure biologique interne, les chercheurs ont établi que leur horloge interne retardait de une heure par rapport aux lecteurs « classiques ». Voilà pourquoi les adolescents accros aux écrans ont tant de mal à se lever le matin !

Peut-on éviter les effets négatifs de la lumière des écrans le soir ?

Les études menées sur les lunettes qui filtrent les longueurs d'onde courtes ont montré des résultats intéressants. Les applications pour ordinateurs ou smartphones qui atténuent lumière bleue de l'écran le soir, n'ont pas été étudiées mais l'idée va dans le bon sens. La meilleure solution demeure cependant d'exclure les écrans de la chambre, on gagne ainsi de une à deux heures de sommeil par nuit ! ■

Propos recueillis par E. S.

ADULTES

7 à 9 h
de repos

par nuit sont
indispensables
de 18 à 64 ans.

**1 Français sur
trois**

déclare dormir moins
de 6 h par nuit

CARACTÉRISTIQUES

► Succession d'environ
5 cycles de 90 minutes
chacun

► Chaque cycle débute
par du sommeil lent
et se termine par du
sommeil paradoxal

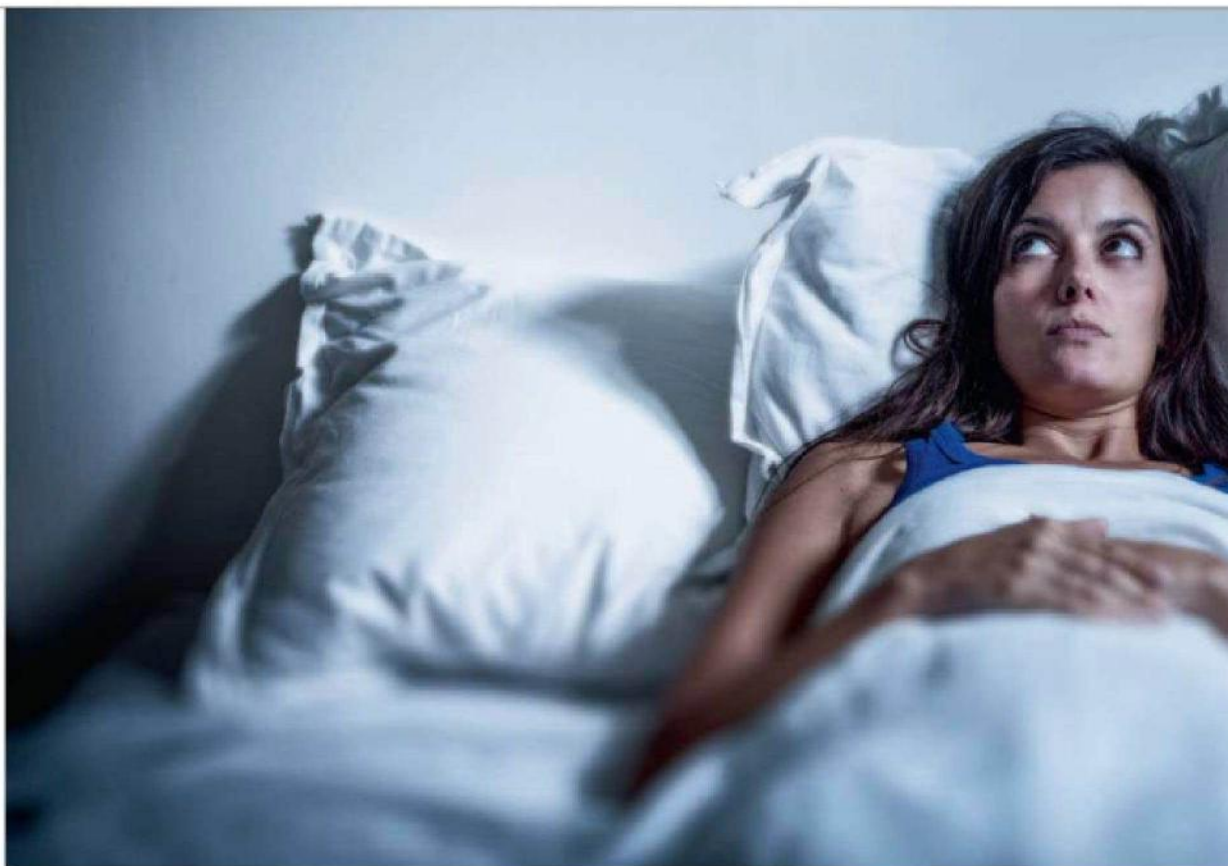
RECOMMANDATIONS

► Se coucher à
horaires réguliers

► Respecter les signes
d'endormissement et
de fatigue (yeux qui
piquent, bâillement)

► Ne plus utiliser
d'écran au moins une
heure avant de se
coucher

► Exclure les écrans
de la chambre



8 heures de repos, l'atout santé

Un Français sur trois souffre de déficit de sommeil.
Les spécialistes alertent sur ce qu'ils considèrent
comme un problème de santé publique.

À 23 HEURES, SEUL UN FRANÇAIS SUR DEUX est couché et un sur dix ne dort toujours pas à une heure du matin. Matinal ou lève-tard, couche-tôt ou oiseau de nuit, à chacun son rythme ! Mais si un adulte sur trois déclare dormir moins de six heures par nuit, un sur six s'estime fatigué tous les jours de la semaine et un sur dix se dit insomniaque... Pourtant les recommandations internationales de l'Association américaine du sommeil (National Sleep Asso-

ciation) sont formelles : un adulte a besoin en moyenne de 7 heures de sommeil. À cette période de la vie, une nuit se découpe de façon très précise en cycles successifs (trois à cinq) d'environ 90 minutes chacun. Chaque cycle est lui-même composé de trois types de sommeil : lent-léger, lent-profond et paradoxal (lire page 32). Raffinement supplémentaire : au cours d'un même cycle, la durée de chaque stade varie en fonction du moment. Ainsi, on trouve une majorité de

sommeil lent-profond au début, permettant la récupération physique, puis en majorité du paradoxal au petit matin, le temps des rêves et des cauchemars.

Toutefois, cet agencement peut se dérégler. Entre les contraintes professionnelles et familiales, les incitations à l'hyperactivité, l'omniprésence des écrans, les nuisances sonores et le stress, l'objectif des sept heures est bien difficile à atteindre. Résultat : la dette de sommeil concerne un adulte actif sur trois ! Avec



Les causes de l'insomnie peuvent être physiques mais aussi psychiques, sur fond d'anxiété et de dépression

GARO/FHANE

des conséquences majeures comme la somnolence diurne, premier facteur d'accident de la route dans l'Hexagone, avant l'alcool et la vitesse (12 % des accidents globaux et 33 % des accidents mortels sur autoroute).

Des effets importants sur le métabolisme

« Un tiers des jeunes adultes et 25 % des adultes plus âgés sont en privation chronique de sommeil », peut-on lire dans le rapport « Retrouver le sommeil, une affaire publique » du think-tank Terra Nova paru au printemps sous la houlette des professeurs Damien Léger et Jean-Pierre Giordanella. Viennent ensuite les troubles de l'attention, de l'apprentissage, de la mémoire et du jugement. « Il faut rajouter les effets de ce manque sur le métabolisme », insiste le Dr Véronique Viot-Blanc, du Centre du sommeil de l'hôpital Lariboisière (Paris), comme le risque

de contracter un diabète ou une obésité. Exemple, avec les travaux de Karine Spiegel, de l'Inserm U1028 à l'université Claude-Bernard (Lyon) qui ont démontré qu'une restriction répétée chez des volontaires induisait une dérégulation de l'appétit. Celle-ci est due à des modifications hormonales des sécrétions de ghréline et de leptine, deux hormones impliquées dans les sensations de satiété et de faim. Résultat, les prises alimentaires se font plus importantes, qui plus est avec davantage d'aliments à haute valeur énergétique. « De fait, une durée insuffisante de sommeil limite aussi l'efficacité d'un régime amaigrissant », ajoute Véronique Viot-Blanc. ►



WITHINGS

HIGH-TECH

Les applications pour retrouver des nuits apaisées

Plus d'une centaine d'applications pour tablettes et smartphones proposent désormais d'aider chacun à améliorer son sommeil. Moncoachsommeil, développé par le réseau Morphée, émet ainsi des alertes à l'heure du coucher et teste l'humeur du matin. Isommeil conçu par le Centre du sommeil de l'Hôtel-Dieu (Paris) propose un choix de musiques et lumières pour s'endormir et se réveiller, évalue la vigilance diurne et, comme le fait aussi l'application Pillow (« oreiller »), enregistre les mouvements nocturnes (et les ronflements !) pour tracer le profil des cycles de sommeil. Pour cela, le smartphone doit être posé sur le matelas près de la tête (en mode avion) pour que l'accéléromètre détecte les mouvements du corps : ce dernier est, en effet, plus agité en sommeil léger qu'en sommeil profond et devient totalement immobile en

sommeil paradoxal (rêves). L'appli déclenche l'alarme dès que le sommeil devient plus léger avant l'heure programmée de réveil.

Au matin, chacun obtient ainsi le « profil » de sa nuit, sans — hélas ! — obtenir davantage d'explications. Quel crédit accorder à ces applis ? Aucune n'a encore fait l'objet d'une validation scientifique comme le rappelle l'enquête

« Sommeil et nouvelles technologies » de l'Institut national du sommeil et de la vigilance (INSV). Bien que très approximatives, elles présentent cependant l'avantage de faire prendre conscience — gratuitement — de son sommeil et de son importance. « En ce sens, elles sont très utiles », commente l'INSV. E. S.

► D'autres travaux ont démontré un lien entre privation de sommeil et apparition de troubles immunitaires, voire de cancers en cas de travail de nuit avec horaires décalés. Exemple, avec des études épidémiologiques menées dès les années 1990 auprès de femmes travaillant de nuit (hôtesse de l'air et infirmières) chez qui un risque accru de cancer du sein a été identifié. Le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) a d'ailleurs ajouté en 2009 le travail de nuit à la liste des agents « probablement cancérogènes ».

« Manger mieux, bouger plus... et bien dormir »

En jeu, le dérèglement de l'horloge biologique et ses modifications sur la sécrétion de la mélatonine, l'hormone naturelle du sommeil. Sa baisse ou son absence diminuerait son effet protecteur vis-à-vis du développement de cancers, en particulier par son action sur d'autres hormones comme la progestérone ou les œstrogènes. Autant de risques encore trop peu connus du public. « *C'est pourquoi une campagne d'information sur les risques du manque de sommeil serait nécessaire* », plaide la spécialiste. Les auteurs du rapport de Terra Nova proposent ainsi de compléter le célèbre slogan « *Manger mieux, bouger plus* » par... « *et bien dormir* ».

Pour l'heure, ce sont surtout les insomniaques qui mobilisent les spécialistes, eux qui chaque nuit guettent en vain l'arrivée du sommeil. Une première association, France Insomnie, a été créée au printemps dernier car 20 % des Français seraient concernés, dont la moitié souffrent de nombre de formes sévères. « *Le problème est le caractère subjectif de la plainte qui, elle, est toujours bien réelle* », précise le Pr Charles Morin, spécialiste du sommeil à l'université

Laval, à Québec (Canada). Pour les personnes concernées, les nuits sont chaotiques, l'éveil trop précoce d'où découle un repos insuffisant qui se solde par des journées ponctuées d'épisodes de somnolence, d'irritabilité, etc. La plupart du temps aiguë et réactive à un stress momentané (deuil, maladie...), l'insomnie peut aussi devenir chronique si ces signes s'observent au moins trois fois par

Les centres du sommeil prennent en charge les insomniaques



Une hospitalisation de courte durée permet de procéder à divers examens, comme ici un enregistrement de l'activité cérébrale pour mettre en évidence des anomalies respiratoires.

semaine depuis plus de trois mois. Rien à voir donc avec les petits dormeurs (10 % de la population), qui dorment peu mais qui sont, eux, en parfaite forme au réveil. Si les causes des insomnies peuvent être physiques (apnées du sommeil, jambes sans repos, reflux gastro-œsophagien, asthme...), elles sont souvent psychiques, sur fond d'anxiété et de dépression. « *Parfois, l'origine remonte*

HORLOGE BIOLOGIQUE

Les femmes plus vulnérables que les hommes

L'inégalité face au sommeil commence avec le sexe. Plus vulnérables que les hommes aux perturbations du sommeil, les femmes courent un risque deux fois supérieur de souffrir d'insomnie. C'est qu'il existe une relation entre l'horloge biologique régulant le sommeil et le fait d'être femme ou homme, comme l'a montré une étude canadienne publiée cet automne dans *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*. « *À horaire de sommeil comparable, nous avons observé que l'horloge biologique des femmes les porte à s'endormir et à se réveiller plus tôt que les hommes* », écrit l'auteur principal de l'étude, Diane Boivin, de l'université McGill (Montréal, Québec). Selon ce travail, il apparaît en effet que les femmes sont calées sur un fuseau horaire différent de celui des hommes, ce qui les décale d'environ deux heures. Conclusion, elles doivent se coucher plus tôt!



O. LABAN-MATTEI/MYOP



INTERVIEW

ISABELLE ARNULF

UNITÉ DES TROUBLES DU SOMMEIL DE L'HÔPITAL
DE LA PITIÉ-SALPÊTRIÈRE (PARIS)

Comment maîtriser ses cauchemars

Peut-on apprendre à maîtriser ses cauchemars ?

Oui. Il existe une thérapie, par répétition d'imagerie mentale, que nous proposons à des patients, le plus souvent narcoleptiques [dormant trop longtemps], qui souffrent de cauchemars récurrents. Nous leur demandons de tenir un carnet de rêves. Puis nous les invitons à les raconter à un neuropsychologue qui les aide à en changer le scénario, en imaginant une issue positive. Les patients doivent ensuite les visualiser consciemment deux ou trois fois par jour, surtout avant de s'endormir car le cerveau va se souvenir de cette nouvelle imagerie mentale et la rejouer. C'est efficace dans 70 % des cas. Et cette technique comportementale fonctionne quelle que soit la cause des cauchemars. Nous l'utilisons aussi après un traumatisme. On peut,

dans ce cas, prescrire aussi un médicament — contre l'hypertension artérielle par exemple — qui, en baissant le taux d'adrénaline la nuit, permet de réduire les cauchemars.

Quelle différence entre cauchemars et terreurs nocturnes ?

Si le dormeur se réveille brutalement en début de nuit en criant, il s'agit généralement d'une terreur nocturne car les cauchemars se produisent en fin de nuit, sans que la personne crie ou sorte du lit. Les personnes sujettes aux terreurs nocturnes sont fatiguées et se réveillent avec un rythme cardiaque accéléré. L'une de nos études sur 158 patients a montré que ce phénomène a une origine génétique. Les terreurs nocturnes seraient donc héréditaires. Présentes dès l'enfance, elles diminuent à l'adolescence, puis peuvent

réapparaître à l'âge adulte. Il est possible de les traiter avec différentes techniques comme l'hypnose.

Doit-on vraiment supprimer les cauchemars ? Ne sont-ils pas utiles ?

Comme toute douleur, nous estimons qu'il faut les éliminer dès l'instant qu'ils gâchent la vie et font souffrir. Mais faire quelques rêves angoissants n'est pas mauvais en soi. Nous avons montré, chez 719 étudiants en médecine, que 60,4 % d'entre eux rêvaient de l'examen, la veille. Dans 78 % de ces rêves, ils arrivent en retard ou oublient les réponses... ce qui se traduit dans la réalité par une meilleure performance aux examens ! L'anticipation négative d'un événement stressant peut fournir une simulation ponctuelle qui apporte un gain cognitif. Tous les cauchemars ne se valent donc pas. ■

Propos recueillis par E. S.

à l'enfance, chez des personnes contraintes après l'âge de 3 ans aux siestes et conditionnées à attendre le sommeil », précise Dominique Petit, chercheuse au Céams de l'université de Montréal (Canada) (lire p. 34).

Quand les troubles sont trop handicapants au quotidien, une consultation dans un centre du sommeil peut permettre d'éviter de sombrer dans la spirale des somnifères, ou d'en sortir. En France, il en existe une quarantaine*. Parfois, une courte hospitalisation de 24 à 48 heures est envisagée pour réaliser différents examens : enregistrements du sommeil, recherche de pauses respiratoires, questionnaires... « Ces examens permettent surtout d'objectiver les éveils, détaille Charles Morin. Mais ce qui est compliqué avec les insomniaques, c'est leur perception négative des heures passées à dormir. »

C'est justement ce rapport problématique au sommeil, souvent ancien, qui doit être patiemment démonté par le biais des thérapies comportementales cognitives. Les patients apprennent notamment à tenir un agenda du sommeil, mentionnant nuit après nuit l'heure d'extinction de la lumière, le temps mis à s'endor-

mir, les éveils, etc. Il permet, par exemple, de prendre conscience que le temps passé au lit à attendre que le sommeil arrive est trop long. Bien suivies, ces thérapies, réussissent dans environ 70 % des cas. Et permettent aux insomniaques de retrouver leur forme matinale. ■

S. R.-M.

* Voir « Pour en savoir plus », p. 43.

SENIORS

Les nuits se fractionnent avec l'âge

Si la durée du repos reste inchangée, en revanche sa qualité se détériore souvent.

7 à 8 h

de sommeil par 24 h sont nécessaires à partir de 65 ans

CARACTÉRISTIQUES

- ▶ Le sommeil se fragmente en raison de plusieurs réveils nocturnes
- ▶ Le délai d'endormissement augmente, passant de moins de 30 minutes en moyenne à 30 ans à plus de 45 minutes vers 80 ans
- ▶ Les phases de sommeil profond se réduisent
- ▶ L'heure du coucher devient trop précoce

RECOMMANDATIONS

- ▶ Ne pas se coucher avant 21 heures
- ▶ S'exposer à la lumière du jour
- ▶ Faire éventuellement une sieste de moins d'une heure avant 15 heures
- ▶ Augmenter son activité physique, ses activités sociales et manger sainement
- ▶ Réduire sa consommation de tabac, café et alcool

AVEC LE TEMPS, LE SOMMEIL AUSSI PREND DES RIDES. Ainsi en France, un tiers des plus de 65 ans se plaignent de mal dormir. Mais les idées reçues ont la peau dure. « Non, les personnes âgées n'ont pas besoin de moins de sommeil que les autres car sa durée demeure quasi inchangée tout au long de la vie. Il passe de 8 heures chez l'adulte jeune à 7 heures vers 70 ans », insiste le Dr Véronique Viot-Blanc, du Centre du sommeil de l'hôpital Lariboisière (Paris). En revanche, sa qualité et son rythme évoluent considérablement : on dort « moins bien » à 80 ans qu'à 20 ans. Une « fragmentation » qui commence vers 50 ans avec l'apparition d'un ou plusieurs éveils en milieu de la nuit. Le tout généralement sur fond d'anxiété — l'ennemi public numéro 1 du sommeil — en lien avec des événements qui surviennent souvent à cette période de la vie : ruptures, deuils, départ des enfants, départ en retraite, maladies... Sans oublier la ménopause et ses bouffées de chaleur nocturnes parfois très handicapantes. Des éveils d'autant plus mal supportés qu'ils durent une heure voire davantage. « C'est aussi à cet âge que les troubles spécifiques

(apnées, insomnies, jambes sans repos...) sont plus fréquents, d'où l'importance de toujours rechercher une cause associée lorsque quelqu'un se plaint de mal dormir », note la spécialiste. Car ces plaintes s'accompagnent souvent d'une demande inadaptée de somnifères (lire l'encadré ci-dessous).

Une sensibilité accrue aux bruits environnants

La spirale de la dépendance est alors enclenchée... pour longtemps. Les années passant, « la structure interne du sommeil se modifie en effet encore plus profondément et à de nombreux niveaux », détaille Julie Carrier, du Céams (Centre d'études avancées en médecine du sommeil), à Montréal (Canada). Des « niveaux », principalement

au nombre de quatre. Le premier correspond à l'accumulation des éveils nocturnes, conduisant à un morcellement pénible de la nuit ; le second à l'allongement du temps d'endormissement qui passe de moins de 30 minutes pour un adulte jeune à 45 minutes pour un septuagénaire. Le troisième concerne le sommeil profond,

SOMNIFÈRES

Éviter le petit comprimé du soir

En France, un tiers des plus de 65 ans — soit près de 3,5 millions de personnes — et près de 40 % des plus de 85 ans consomment des somnifères de façon régulière. Des chiffres inquiétants quand on sait que les prises

au long cours favorisent les chutes, les troubles de la mémoire et cognitifs... mais aussi la maladie d'Alzheimer comme *Sciences et Avenir* a été le premier à le révéler (voir S. et A. n° 776, octobre 2011). Autant d'effets indésirables, sources d'hospitalisations et de surmortalité. « Stop à la prescription systématique



Une sieste peut être bénéfique à condition qu'elle n'excède pas une heure



BURGER/PHANIE

très réduit. « Il passe de 20-25 % de la durée du sommeil chez l'adulte jeune à 10-15 % à 80 ans », précise Julie Carrier. Résultat : le sommeil se fait plus léger, donc plus perméable aux bruits environnants. Cette hypersensibilité est due à la raréfaction chez les personnes âgées des ondes cérébrales rapides (*spindles*), identifiées en 2010 par

une équipe de l'université Harvard (États-Unis), qui permettent de passer d'un sommeil léger au sommeil lent profond.

Enfin, l'heure du coucher avance de plus en plus en raison principalement de la réduction des activités sociales, de l'ennui, parfois de la dépression... Ainsi certaines personnes très âgées se mettent-

elles au lit vers 18 heures, parfois sans même dîner. Un comportement fortement déconseillé... car le réveil sera très matinal voire nocturne, « ce qui est souvent confondu avec une insomnie », note Julie Carrier. Le coucher précoce mène à ce que les spécialistes nomment une avance de phase, l'inverse du retard de phase des adolescents (*lire p. 37*). L'instauration d'une sieste peut être bénéfique, à condition qu'elle n'excède pas une heure et se situe toujours avant 15 heures, pour éviter de trop se décaler. Enfin, il importe ensuite de sortir, l'exposition à la lumière permettant de réguler l'horloge interne car l'organisme identifie mieux l'alternance jour-nuit et stimule la mélatonine, l'hormone naturelle du sommeil. Des études ont montré que près de la moitié des personnes de plus de 80 ans, et davantage encore parmi celles résidant en institution, sortaient moins d'une heure par jour. ■

S. R. M.

de somnifères chez les personnes âgées », alertait en 2012 la Haute Autorité de santé (HAS), qui depuis dix ans travaille avec les professionnels pour mieux repérer les personnes dépendantes et les accompagner vers le sevrage. Parmi ses outils, l'échelle cognitive d'attachement aux benzodiazépines (ECAB), un questionnaire qui permet de mesurer le degré de dépendance. Le principal frein au sevrage reste l'angoisse.

Comment se passer du petit comprimé du soir ? D'autant modifier le traitement d'une personne âgée menace souvent un équilibre de vie fragile. Solitude, peur de la mort... autant de paramètres à prendre en compte. Bonne nouvelle, les thérapies comportementales et cognitives ont démontré leur efficacité dans ce domaine. Une étude récente le confirme, mieux vaut apprendre à bien dormir que se soumettre à la chimie. S. R. M.

POUR EN SAVOIR PLUS

Sites généralistes sur le sommeil

L'Inserm

► sciav.fr/838troubles

L'Institut national du sommeil et de la vigilance

► sciav.fr/838vigilance

Le réseau Morphée

► reseau-morphee.fr

La Société française de recherche et médecine du sommeil :

► www.sfrms-sommeil.org

La carte interactive des centres du sommeil

► sciav.fr/838carte

Le rapport de la fondation Terra Nova

► sciav.fr/838rapport

La plaquette bien dormir de l'Inpes-Santé publique

► sciav.fr/838dormir

Livres

► Dormir sans médicaments... ou presque,

Patrick Lemoine, éditions Robert Laffont.

► Les Mécanismes du sommeil : rythmes et pathologies,

Sylvie Royant-Parola, Claude Gronfier, Julie Adrien, éditions du Pommier.

MAGNÉTOSPHÈRE Région entourant un objet céleste, où les phénomènes physiques sont régis par son champ magnétique. Jupiter possède la deuxième plus puissante magnétosphère du système solaire après celle produite par notre étoile.

PÉRIJOVE Pour les satellites naturels de Jupiter, ou artificiels comme la sonde spatiale Juno, c'est le point de l'orbite où ils sont les plus proches de la planète géante.

VENT SOLAIRE Flux de plasma composé essentiellement d'ions et d'électrons éjectés depuis la haute atmosphère du Soleil.

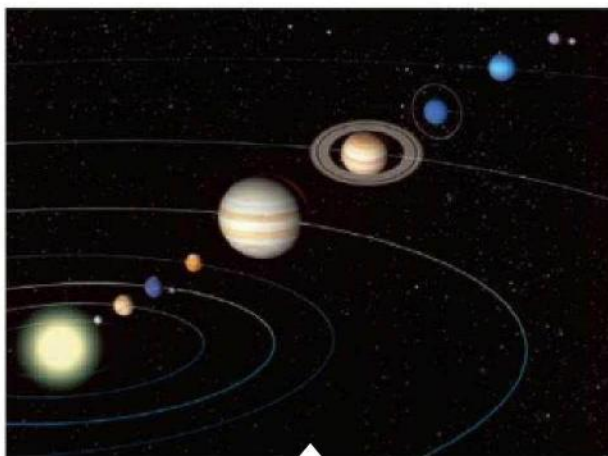
Juno commence à effeuiller Jupiter

La plus grosse des planètes du système solaire est aussi l'une des plus mystérieuses. La sonde de la Nasa, malgré quelques défaillances techniques, est en bonne position pour analyser au plus près la composition de la géante gazeuse.

Par Franck Daninos

JUNO SE PORTE BIEN et répond à présent à toutes nos commandes. » Ouf ! la Nasa a eu chaud. L'agence spatiale américaine a bien cru que sa mission à 1,1 milliard de dollars dont l'objectif est d'explorer Jupiter, la plus grosse et la plus mystérieuse planète du système solaire, était définitivement compromise. Pendant dix jours, la sonde spatiale Juno a en effet connu plusieurs avaries touchant son système de propulsion et ses commandes. Jusqu'à ce que Rick Nybakken, du Jet Propulsion Laboratory (Pasadena, Californie, États-Unis), mette en partie fin à l'angoisse le 26 octobre en annonçant que les ingénieurs avaient repris le contrôle de la sonde. Lancé en août 2011, l'engin s'est mis avec succès en orbite autour de Jupiter le 4 juillet dernier après avoir parcouru 2,8 milliards de kilomètres (*lire S. et A. n° 833, juillet 2016*).

Les espoirs d'obtenir de nouvelles informations sur cette planète et sur la prime enfance du système solaire il y a 4,6 milliards d'années sont grands chez les scientifiques.



Cinquième planète du système solaire, Jupiter, géante gazeuse, est probablement la première à s'y être formée.

« Depuis la mission Galileo, qui s'est achevée en 2003, nous n'avons pas appris grand-chose de nouveau sur Jupiter, confie ainsi Thierry Fouchet, planétologue à l'observatoire de Paris pour qui la liste des questions non résolues sur ce mastodonte 1300 fois plus volumineux que la Terre est longue. Nous nous interrogeons toujours sur la composition de son atmosphère et sur les mécanismes à l'origine de son champ magnétique particulièrement

intense. Surtout, nous aimerions connaître la genèse et la structure interne de cette planète qui a probablement été la première à s'être formée dans le système solaire. »

Des instruments à l'épreuve de radiations très fortes

Mais pour réaliser toutes les mesures nécessaires, Juno a un défi à relever : survivre aux radiations émises par la géante gazeuse, notamment dans les régions équatoriales. « Ces radiations sont si intenses qu'elles peuvent brûler très rapidement l'électronique des instruments embarqués : gravimètre, magnétomètre, radiomètre à micro-ondes, détecteurs de particules, spectromètres infrarouge et ultraviolet, caméra en lumière visible, etc. », explique Michel Blanc, astronome à l'Institut de recherche en astrophysique et en planétologie de Toulouse, qui participe au projet depuis sa conception en 2008. Deux stratégies ont donc été choisies pour limiter les doses absorbées. Les instruments ont tout d'abord été enfermés dans un « sarcophage » en titane qui

divise par un facteur 800 l'intensité des rayonnements. Et la Nasa a opté pour une orbite polaire excentrique et fortement inclinée pour éviter les ceintures de radiations. C'est pour cette raison que la sonde de 3600 kilos, grande comme un terrain de basket quand ses panneaux solaires sont déployés, est arrivée par le pôle nord avant de plonger vers le pôle sud. Le programme prévoit ainsi 34 révolutions pour une durée totale d'un an et demi, temps durant lequel Juno devrait « tenir » selon les calculs des ingénieurs. Et engranger ainsi suffisamment de données pour cartographier l'atmosphère et la magnétosphère joviennes (*voir lexique*), et sonder les entrailles d'Icare géante.

de chauffe » pour s instruments

re orbite s'est achevée le 27 août par un saut de 4100 kilomètres au-dessus de la surface nuageuse de la planète. Au lieu d'un « rase-mottes » au pôle, la sonde a effectué un tour de la planète autour de ce point de son orbite nommé « périjove », a procédé à ses premières mesures rapprochées — soit six mégas de données — lors de ce survol considéré comme un « tour de chauffe ». Il a permis

d'ajuster les instruments, et s'est effectué sur une boucle longue et très excentrique de 53 jours. L'objectif étant ensuite de placer la sonde sur une orbite beaucoup plus courte de 14 jours « pour effectuer un maximum de vols rapprochés en un minimum de temps », précise Michel Blanc.

Mais c'est ensuite que les ennuis ont commencé... Le 16 octobre, lors d'essais préparatoires visant à rallumer le propulseur, la Nasa a détecté une anomalie dans les valves qui alimentent le moteur ►

Le pôle sud de Jupiter

(ci-dessus) apparaît sur les photographies prises par la sonde Juno (vue d'artiste) avant son premier survol à environ 100 000 km de la géante, le 27 août, au cours duquel, elle a également pu, grâce à son spectromètre infrarouge, observer d'immenses aurores australes (ci-contre).



► en carburant. Résultat : un temps de réaction étendu à deux minutes au lieu des quelques secondes nécessaires à la mise à feu, compromettant ainsi dangereusement la mission. Afin d'éviter tout dommage, la Nasa a donc décidé de maintenir la sonde dans son orbite longue de 53 jours, le temps de résoudre le problème avant une nouvelle manœuvre pour passer sur l'orbite courte qui devrait être tentée le 11 décembre lors du prochain périjove. Mais si d'ici là les ingénieurs de la Nasa ne parviennent pas à résoudre le problème des valves, la sonde devra rester sur son orbite longue. « La précision et l'intérêt des données



ANDREA F. SCHER

« Les premiers résultats dépassent toutes nos prévisions et ce n'est qu'un début »

Michel Blanc, Institut de recherche en astrophysique et planétologie, Toulouse

seraient dans ce cas strictement les mêmes, mais Juno les collecterait à un rythme beaucoup plus lent. Il faudrait alors prolonger la mission, peut-être jusqu'à fin 2019 », explique Michel Blanc.

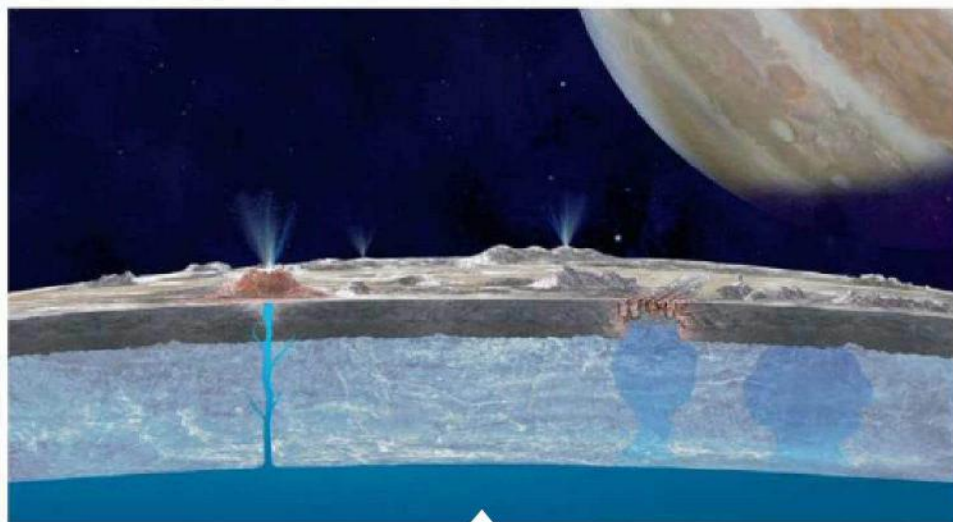
Un autre incident est venu compliquer encore la tâche des ingénieurs de la Nasa le 19 octobre. Pour une raison inexpliquée, les systèmes informatiques ont soudain placé la sonde en mode « sans

échec », une procédure de sécurité qui a entraîné la mise en veille de tous les instruments. Devenue aveugle lors du deuxième périjove, Juno n'a pu engranger aucune donnée. Heureusement, la frayeur aura été de courte durée : c'est précisément cet incident qui a été résolu le 24 octobre, les instruments étant donc à nouveau opérationnels pour le vol rapproché du 11 décembre. « Nous sommes tous très impatients, a déclaré Scout Bouton, principal investigateur la mission Juno, car les données que nous avons reçues lors du premier périjove sont vraiment remarquables ! »

CRYOVOLCANISME

Des geysers d'eau à la surface du satellite Europe

Des éruptions de vapeur d'eau se produiraient à la surface d'Europe, l'un des quatre plus grands satellites de Jupiter, a annoncé la Nasa fin septembre. Les indices, jugés très solides, ont été apportés par Hubble. Le télescope spatial a observé à trois reprises ce qui ressemble fortement à des geysers, en utilisant Jupiter comme source de lumière quand Europe passe devant la planète géante. Cette eau proviendrait d'un océan liquide situé sous la calotte glacière. En 2012, Hubble avait déjà mesuré des rayonnements ultraviolets suggérant la présence de vapeur d'eau jusqu'à 200 km au-dessus du pôle sud, mais les scientifiques n'étaient pas parvenus à reproduire ce résultat. « Ces nouvelles observations suscitent énormément d'intérêt, souligne l'astronome toulousain Michel Blanc, car l'océan subglaciaire d'Europe est considéré comme l'un des meilleurs endroits où rechercher la présence d'une vie actuelle dans le système solaire ! » Deux missions, l'une européenne, l'autre américaine, devraient quitter la Terre en 2022 pour aller étudier les grands satellites de Jupiter, en particulier Europe et peut-être y collecter des échantillons d'eau...

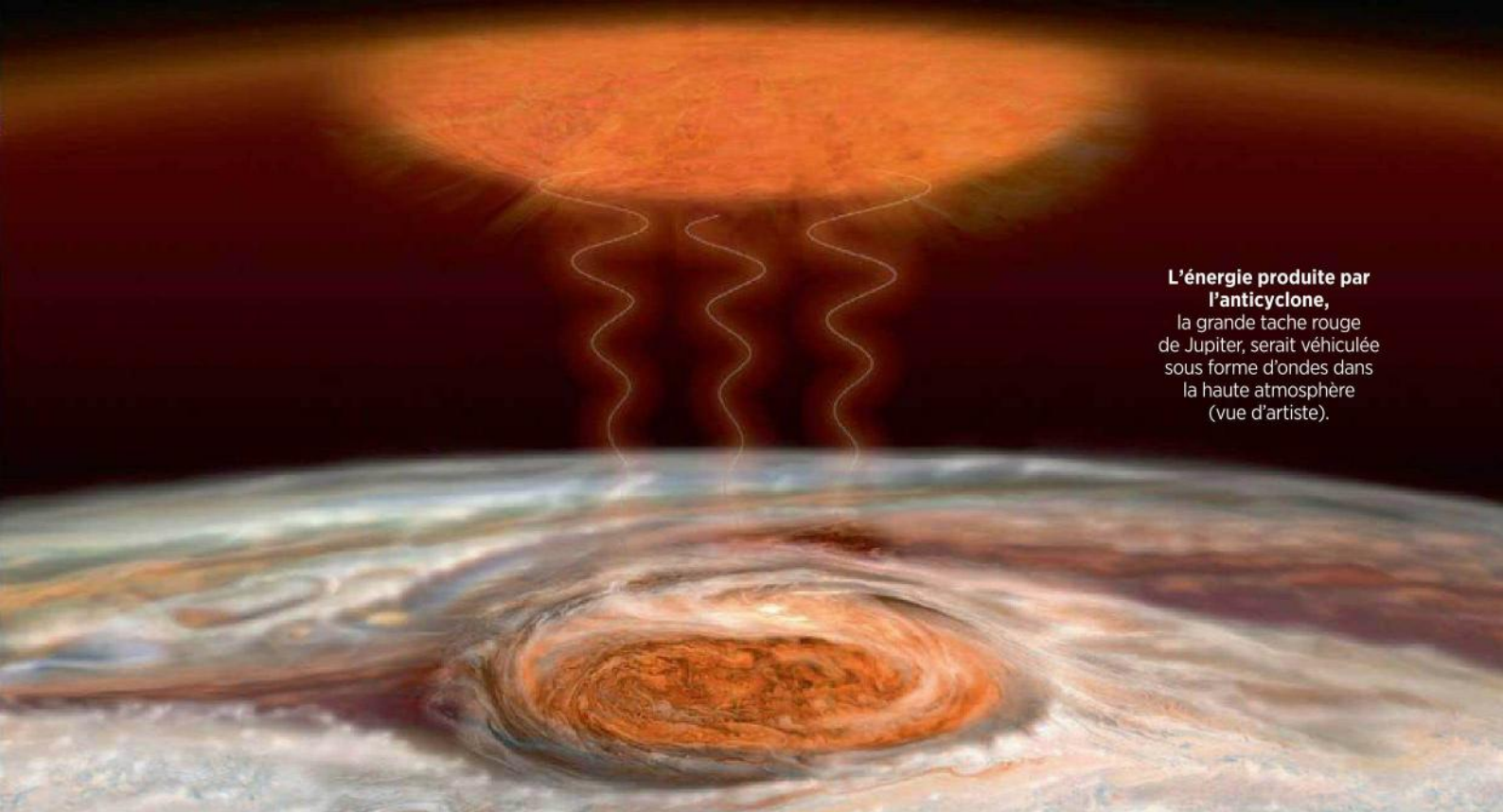


NASA/JPL-CALTECH

Europe, la lune glacée de Jupiter, abriterait un océan d'eau liquide expulsée à la surface de la banquise épaisse de plusieurs kilomètres sous forme de geysers (vue d'artiste).

Une centaine de chercheurs dissèque déjà les données

Celles-ci commencent déjà à être disséquées par la centaine de scientifiques associés au projet. Ainsi, grâce au radiomètre à micro-ondes, les chercheurs ont pu sonder les couches atmosphériques en les « effeuillant » comme un oignon. Et établir ainsi, pour la première fois, que l'alternance des larges bandes parallèles sombres et claires à la surface de Jupiter, dont l'origine demeure inconnue, se retrouve jusqu'à 400 kilomètres de profondeur, selon des structures différentes. Les expériences et les analyses ultérieures en préciseront la dynamique et la composition chimique. Elles permettront d'étudier aussi la « grande tache rouge » de Jupiter, un anticyclone de 15 000 kilomètres de large où des vents soufflent à plus de 700 km/h (lire l'encadré p. ci-contre) ! « Ce phénomène sans équivalent dans le système solaire est observé depuis les années 1880, peut-être même depuis le milieu du



L'énergie produite par l'anticyclone, la grande tache rouge de Jupiter, serait véhiculée sous forme d'ondes dans la haute atmosphère (vue d'artiste).

KAREN TERAMURA, UHIFA/JAMES O'DONOGHUE BOSTON UNIVERSITY

OBSERVATION

La grande tache rouge échaufferait l'atmosphère jovienne

Cet énorme anticyclone expliquerait les températures très élevées sur la planète.

Pourquoi la haute atmosphère de Jupiter est-elle aussi chaude (environ 600 °C) que celle de la Terre, alors que notre planète est cinq fois plus proche du Soleil ? Cette question, qui préoccupe les scientifiques depuis une trentaine d'années, pourrait enfin avoir trouvé sa réponse à en croire une équipe du Centre de physique spatiale à Boston (États-Unis) et de l'université

de Leicester (Royaume-Uni). Ni l'énergie solaire, ni celle produite par les aurores polaires ne permettent en effet d'expliquer les températures de la « thermosphère » jovienne, région qui se situe à plusieurs centaines de kilomètres au-dessus des plus hauts nuages. Selon les chercheurs, l'excédent d'énergie serait en fait apporté par la « grande tache rouge » de Jupiter, ce

gigantesque anticyclone dont le diamètre est plus important que celui de la Terre. Grâce au télescope IRTF (Infrared Telescope Facility) situé au sommet du Mauna Kea à Hawaii (États-Unis), les astronomes ont identifié un point très chaud (1330 °C) au-dessus de la grande tache rouge. La preuve, selon eux, que ce phénomène météorologique hors norme joue un rôle essentiel dans

le réchauffement global de la haute atmosphère. Une grande quantité d'énergie serait produite par les interactions turbulentes entre les vents violents de l'anticyclone et les masses d'air environnantes. Elle serait ensuite transmise, verticalement, par des ondes acoustiques et des variations à grande échelle de la pression atmosphérique dénommées « ondes de gravité ».

XVII^e siècle », relève Thierry Fouchet. Comment s'est-il formé ? Comment expliquer son extraordinaire longévité ? « On n'en sait rien, précise le planétologue. Selon des calculs réalisés en mars par des astronomes israéliens, Juno apportera des réponses si la grande tache rouge s'enracine au minimum à 2000 kilomètres de profondeur. »

La sonde a également observé les gigantesques aurores au-dessus des calottes polaires. Ces aurores avaient été observées par le télescope spatial Hubble et par

les télescopes installés à Hawaii (États-Unis), mais c'est la première fois, grâce à Juno, qu'on les voit de si près et avec un tel luxe de détails ! Contrairement aux aurores terrestres produites par le vent solaire, celles-ci résultent des interactions entre la magnétosphère et des particules ionisées issues du volcanisme d'Io, l'un des satellites de Jupiter. Ce n'est pas tout ! Les mesures réalisées au niveau des pôles indiquent que le champ magnétique au voisinage de Jupiter est beaucoup plus

complexe que les chercheurs ne le pensaient. « Ces premiers résultats dépassent toutes nos prévisions. Et ce n'est qu'un début, insiste Michel Blanc. Le prochain péri-jove enrichira les données, et le gravimètre entrera pour la première fois en fonction. Il scrutera le cœur même de la planète, et dévoilera, orbite après orbite, comment cet astre qui cumule les superlatifs a pu se former. » Jupiter commence seulement à révéler ses secrets... à condition que les moteurs de Juno fonctionnent de nouveau normalement. ■

Un trou noir recréé dans l'eau

Une installation inédite à Poitiers a permis de démontrer que les trous noirs ne sont pas étanches. Le rayonnement décrit par l'astrophysicien Stephen Hawking existe bien.

LES SILHOUETTES GÉOMÉTRIQUES du parc du Futuroscope se dressent au milieu des champs, à quelques encablures de Poitiers. Mais les touristes qui s'y bousculent ne se doutent pas un instant que l'attraction scientifique la plus extraordinaire de la région se trouve en fait... dans les sous-sols du bâtiment d'en face, appartenant à l'université de Poitiers. Une enfilade de halls et de couloirs qu'il faut arpen-ter avant de déboucher dans une pièce éclairée par des néons blafards. C'est là que se cache l'un des secrets les mieux gardés du Poitou : un trou noir ! Certes, il ne s'agit pas d'un « vrai », d'une de ces étoiles énigmatiques que les chercheurs auraient décrochées du ciel... Car rappelons que ces astres sont parmi les phénomènes les plus étonnants de l'Univers. Ils sont si compacts que la force de gravité y devient infinie, attirant et avalant toute lumière et matière passant à sa portée. Autrement dit, la Terre elle-même serait engloutie si d'aventure elle venait à s'approcher d'un tel « monstre ». Leur comportement est tellement énigmatique que les théoriciens ne disposent pas d'équation adéquate pour les décrire finement. Et c'est

bien pour cela que les expérimentateurs tentent depuis à peine une décennie d'en fabriquer *in vitro*. Ce qu'est justement parvenue à faire l'équipe franco-britannique autour de Germain Rousseaux, chargé de recherche à l'institut Pprime (CNRS, université de Poitiers)*. Ce « trou noir du Poitou » — comme le fameux Canada Dry de la célèbre publicité — imite les vrais... sans en être un ! « C'est ce que nous appelons un analogue », explique son concepteur. *L'intérêt est de pouvoir l'observer de très près pour mieux comprendre cet astre qui est hors de notre portée et vérifier ainsi les hypothèses des théoriciens à son sujet.* » Et tout particulièrement celle de Stephen Hawking, le très médiatique astrophysicien Britannique, qui a affirmé au milieu des années 1970, en utilisant les travaux du physicien Jacob Bekenstein, que les trous noirs n'étaient pas vraiment noirs mais « gris » : un rayonnement très tenu parviendrait à franchir leur horizon que l'on croyait étanche, et que les spécialistes ne peuvent mettre en évidence, toujours selon Hawking. D'où le travail sur les analogues. C'est ce phénomène bizarre que les chercheurs du laboratoire de



CHRISTOPHE LEPETIT POUR SCIENCES ET AVENIR

Une équipe
franco-britannique
a observé l'équivalent
hydrodynamique
du fameux
rayonnement des
trous noirs prédit par
Stephen Hawking.

Poitiers ont pu vérifier à force d'imagination et de doigté. Leur trou noir de laboratoire naît... dans l'eau. Et c'est plutôt un « trou blanc » : l'inverse d'un trou noir, le trou blanc est une région de l'espace où ne pourrait pénétrer ni matière ni lumière.

Un lieu dédié... à l'ingénierie des transports fluviaux

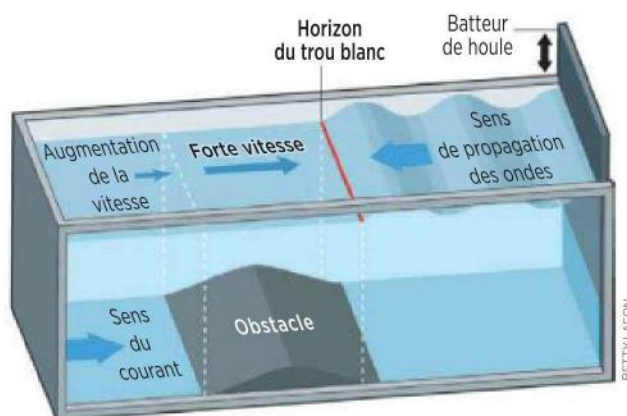
Pour le recréer dans l'eau « nous sommes dans ce lieu dédié à la recherche et ingénierie pour les transports fluviaux », précise Léo-Paul Euve. Tandis que Johan Fourdrinoy s'affaire auprès du bassin de 7 mètres de long et 40 cm de large rempli d'une hauteur d'eau de 8 cm. Un aquarium sans poissons en quelque sorte, mais avec des vagues formées par un



EXPÉRIENCE

Une recette hydro-dynamique

Du point de vue théorique un trou noir possède un renversé temporel : c'est un trou blanc, une région de l'espace qui ne laisse passer ni matière ni lumière. Trou noir et trou blanc font appel aux mêmes mécanismes. Pour des raisons pratiques, l'équipe a reproduit plutôt un trou blanc. Le principe de l'expérience est de placer un obstacle au fond d'un bassin, dans lequel un courant arrive par la gauche alors qu'un batteur génère des ondes de surface par la droite. Au sommet de l'obstacle, la vitesse du courant est la plus élevée en vertu de la conservation du débit. Lorsqu'elle dépasse celle de l'onde qui arrive en sens inverse, celle-ci est bloquée comme le sont les ondes lumineuses par l'horizon d'un trou blanc. L'onde est alors réfléchiée et se dédouble, ce dédoublement étant la signature de l'effet prédit par l'astrophysicien Stephen Hawking.



écoulement permanent, tandis qu'un clapet monte et descend, créant une onde. Au fond du bassin, une double rampe et un palier font volontairement obstacle pour changer à cet endroit la vitesse de l'écoulement. En effet, plombiers et kayakistes le savent bien : dès qu'un conduit se resserre, la vitesse de l'écoulement augmente... et à un moment donné, dans la cuve, au-dessus de l'obstacle, elle dépasse la vitesse des vagues qui arrivent en sens inverse. « Cette différence de vitesse

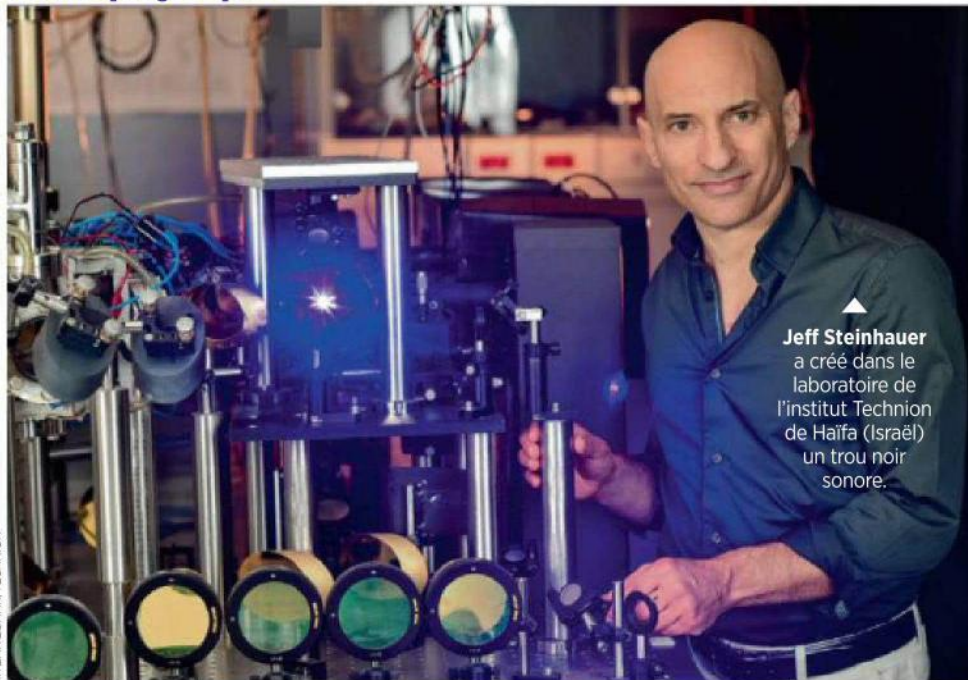
crée la même situation que dans un trou blanc », explique Germain Rousseaux.

Pour comprendre, il est nécessaire de faire un petit retour sur ce qui se passe au sein de ces astres monstrueux. À la fin du XVIII^e siècle, le mathématicien, physicien et homme politique Français Pierre Simon de Laplace — utilisant alors la toute jeune physique du Britannique Isaac Newton — avait compris que pour qu'un objet s'échappe de la gravité d'un astre, il doit être animé d'une certaine

vitesse qui dépend de la masse de l'astre en question. Ainsi chaque planète a sa « vitesse de libération ». Sur Terre par exemple, un objet lancé en l'air à plus de 11,2 km/s ne retombe jamais... et se place en orbite autour du Soleil. Or, le trou noir est si compact que pour s'en échapper il faudrait être animé d'une vitesse supérieure à celle de la lumière ! Impossible, puisque cette vitesse constitue une limite en physique. Résultat : rien ne pourrait sortir d'un tel astre. Puis, au début du XX^e siècle, la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein revisite les trous noirs. Elle stipule que la masse — celle d'une étoile ou d'une galaxie — déforme l'espace. Le trou noir représentant le cas extrême, puisqu'il courbe l'espace ►

« L'intérêt est de pouvoir observer de très près cet astre hors de notre portée pour vérifier les hypothèses des théoriciens à son sujet »

Germain Rousseaux, chargé de recherche à l'institut Pprime (CNRS-université de Poitiers)



▲
Jeff Steinhauer
a créé dans le
laboratoire de
l'Institut Technion
de Haïfa (Israël)
un trou noir
sonore.

ACOUSTIQUE

Un analogue de trou noir... sonore

Un autre analogue de trou noir a vu le jour à l'Institut Technion de Haïfa (Israël) en août 2016. Il s'agit cette fois d'un trou noir acoustique. Son concepteur, Jeff Steinhauer a utilisé un million d'atomes de rubidium refroidis jusqu'au zéro absolu (-273 °C) grâce à un laser. Dans un tel milieu, la vitesse du son est très faible : un millimètre par seconde. Puis, il a accéléré les atomes dans une région et formé ainsi un horizon : d'un côté les atomes vont plus vite que le son, ce qui piège les ondes sonores. L'ensemble forme donc l'équivalent d'un trou noir. Il a observé les paires de particules sonores (des « phonons ») émises de part et d'autre de l'horizon comme prévu par Stephen Hawking. Les deux types d'approche sont poursuivis par quelques laboratoires à travers le monde.

► comme un puits sans fond dont rien ne parvient à ressortir. Mais les théoriciens restent démunis pour les décrire parfaitement, en particulier cette manie qu'ils ont d'avalir toute la masse qui passe à leur proximité. C'est donc sur la base de cette incongruité que Stephen Hawking a formulé sa prédiction : le trou noir émettrait, par de subtils processus quantiques, un faible rayonnement appelé depuis « rayonnement de Hawking ». En y regardant de plus près, on constate que celui-ci est composé de paires de photons dont l'un s'échappe pour former le rayonnement tandis que l'autre est piégé de l'autre côté de l'horizon du trou noir.

C'est précisément l'équivalent de ce faible rayonnement que l'équipe de Poitiers a mis en évidence. Pour

assister à une démonstration, il faut chausser des lunettes protectrices. « Le rayonnement de Hawking est très faible et son équivalent hydrodynamique dans notre cuve est à peine un frémissement à la surface de l'eau, explique Léo-Paul Euve en débutant l'expérimentation. Alors, pour le matérialiser, nous utilisons un laser qui projette une ligne à la surface de l'eau, de sorte que la moindre ride y soit visible. » Aussitôt ce laser en fonctionnement, une onde se propage qui plisse la surface et s'arrête au-dessus de l'obstacle. Là, se crée alors une zone où aucune onde ne parvient à passer, « comme dans un trou blanc ». Puis, deux ondes s'en détachent soudain et se propagent vers la droite de manière symétrique : « Les voici ! Elles sont l'équivalent du rayonnement de Hawking ! s'en-



Autour d'un jet sur une surface plane, se forme un « bourrelet hydraulique » qu'aucune onde ne peut franchir comme un trou blanc.

thousiasme Germain Rousseaux. Il est bien formé de deux composants, l'un d'énergie positive l'autre négative, d'où leur allure symétrique. » Mission accomplie avec, en bonus, un constat étonnant : le rayonnement quantique serait un phénomène très général. En jouant sur le profil de l'obstacle, la vitesse de l'écoulement et celle de l'onde, tout un chacun peut créer son analogue de trou blanc... dans son lavabo ! « Lorsqu'un jet d'eau sortant d'un robinet frappe une surface plane (d'un évier), il se forme un bourrelet circulaire (appelé ressaut hydraulique). À l'intérieur de ce bourrelet, la vitesse de l'écoulement est supérieure à celle de propagation des ondes de surface. Aucune onde ne peut donc franchir cette limite qui agit comme l'horizon d'un trou blanc », explique Renaud Parentani, du Laboratoire de physique théorique d'Orsay (Essonne), qui a collaboré avec l'équipe de Poitiers.

Le spectre prédit n'est reproduit qu'en partie

Reste à décrypter jusqu'où l'analogie peut être poursuivie. « Hawking prédit que le rayonnement qui porte son nom doit avoir deux caractéristiques : un spectre, c'est-à-dire une répartition en fréquence très précise, et être formée de deux particules corrélées ; dans le cas de Poitiers, deux ondes d'énergie opposée, poursuit Renaud Parentani. Or, dans cette expérience, nous retrouvons bien les caractéristiques à deux composants du rayonnement mais nous ne parvenons qu'à reproduire partiellement le spectre prédit. » Pour réduire l'écart qui subsiste, l'équipe doit donc désormais peaufiner le profil de l'obstacle et augmenter encore la vitesse de l'écoulement. Mais, même perfectible, ce « trou noir du Poitou » représente à ce jour un vrai jalon : sur Terre, on ne trouve rien qui imite mieux ces monstres de l'Univers. ■

Azar Khalatbari

* sciav.fr/838trou

Homo sapiens, plus fort que Superman ?

MOOC Les origines de l'Homme : flashez le code
pour vous inscrire ou connectez-vous sur le
mooc-originesdelhomme.com



Qui n'a jamais voulu se cultiver davantage ?

Chez Orange nous faisons tout pour vous faciliter l'accès à la culture et aux savoirs grâce au numérique. Nous concevons une collection de MOOC, cours gratuits en ligne ouverts à tous.

Après l'impressionnisme, Picasso et Louis XIV à Versailles, découvrez le MOOC Les origines de l'Homme.

Retrouvez l'ensemble de nos actions sur orange.culture/culture.

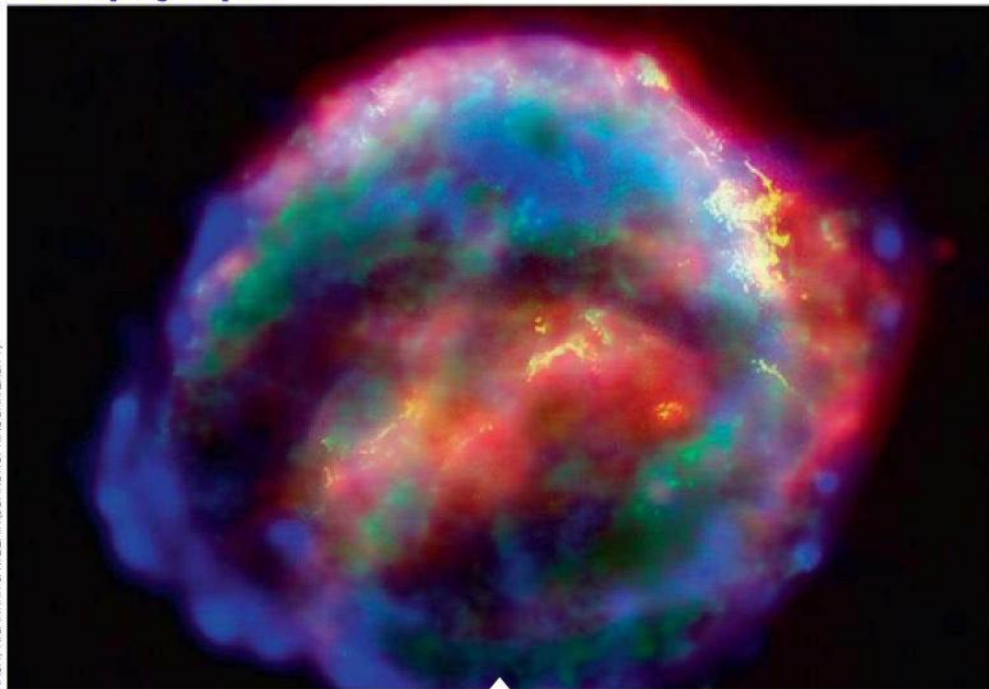


MUSÉE DE
L'HOMME

en partenariat avec TV5MONDE

**Vous rapprocher
de l'essentiel**





NASA / R. SANKRIT & W. BLAIR (JOHNS HOPKINS UNIVERSITY)

L'analyse des supernovae cosmologiques (ici, SN 1604) est à l'origine de l'hypothèse de l'énergie sombre.

Le mystère de l'énergie sombre s'épaissit

Une étude remet en question l'existence de cette énigmatique entité qui constituerait environ 68 % du contenu de l'Univers.

LA COSMOLOGIE N'EN FINIT PAS de se remettre en question ! Quelques semaines à peine après un article questionnant l'existence même de la matière noire — cette masse invisible et jusque-là indétectable, devenue indispensable pour expliquer le cosmos dans sa globalité — (*lire S. et A. n° 837, novembre 2016*), c'est un autre pilier de la discipline qui est attaqué : l'énergie sombre. La critique de ce concept qui a valu le prix Nobel de physique en 2011 à ses inventeurs (les Américains Saul Perlmutter, Brian Schmidt et Adam Riess) est signée par l'équipe de Subir Sarkar, de l'université d'Oxford (Royaume-Uni) et publiée par la revue *Nature*. Et si cette remise en

question se confirmait, cela obligerait rien de moins qu'à revoir totalement le modèle cosmologique actuel.

Revenons aux fondements de cette fameuse énergie sombre. Elle traduit le fait que non seulement l'Univers est en expansion, comme prédit par le Belge Georges Lemaître en 1927 puis démontré par l'Américain Vesto Slipher avec son compatriote Edwin Hubble en 1929, mais que cette expansion est accélérée. Résultat : l'Univers gonfle de plus en plus vite. Le responsable de ce délitement accru : une entité énigmatique qui constituerait environ 68 % du contenu de l'Univers, l'énergie sombre. Comment les astronomes en sont-

ils arrivés à une telle bizarrerie ? À partir de l'étude des supernovae cosmologiques, des étoiles en cours d'explosion qui constituent des repères de position. Leur lumière permet de déduire leur distance, qui doit être, en principe, conforme à celle obtenue par d'autres méthodes... Or, en 1998, plusieurs études ont constaté une anomalie : ces astres semblaient situés bien plus loin, de sorte qu'une simple expansion — comme l'avait imaginé Hubble — ne pouvait expliquer leur présence à cet endroit. D'où l'hypothèse qu'une expansion allant de plus en plus vite s'était emparée de l'Univers.

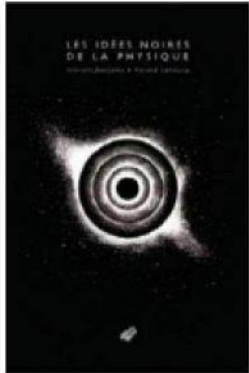
Dix fois plus de mesures qu'en 1998

Mais depuis, le catalogue des supernovae cosmologiques s'est considérablement étoffé. Et l'équipe de l'université d'Oxford a procédé à l'examen des distances pour dix fois plus d'entre elles qu'en 1998. Et là, surprise ! En moyenne, les données s'expliqueraient en fait... avec la seule expansion de Hubble. Faut-il pour autant déjà enterrer l'énergie sombre ? « *Non !* répond clairement Pierre Astier, spécialiste du sujet au Laboratoire de physique nucléaire et des hautes énergies du CNRS. *Le concept d'énergie sombre est adossé à plusieurs autres mesures provenant de satellites cosmologiques comme Planck qui n'ont pas été prises en considération ici. Par ailleurs ce nouvel article ne tient pas compte des derniers résultats sur les précautions à prendre avec ce type de mesures.* »

En attendant une nouvelle théorie, les cosmologistes doivent donc encore compter avec l'énigmatique énergie sombre. « *D'une manière générale, quelque chose d'essentiel concernant la nature de la gravitation nous échappe encore probablement* », admet Pierre Astier. ■

Azar Khalatbari

Les Idées noires de la physique

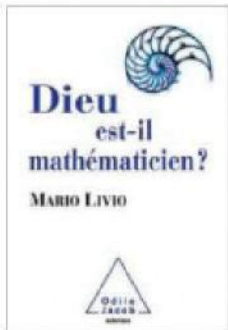


Vincent Bontemps et Roland Lehoucq, Les Belles Lettres, 208 p., 17,90 €

Pour le plus grand bonheur des lecteurs, voici un essai insolite tournant autour du « noir » et de ses multiples résonances en astronomie, art, littérature et poésie. Tandis que le physicien Roland Lehoucq éclaire les concepts de « matière noire », « énergie noire », « trous noirs » et « corps noirs » — qui ont tous donné du fil à retordre à des générations de scientifiques —, le philosophe Vincent Bontemps démontre en quoi le noir est objet de

fascination. Citant Michel Pastoureau qui distingue les deux sens de la couleur noir dans les langues indo-européennes — *ater*, le noir mat et éteint, sale et laid, et *niger*, le noir beau et brillant —, il affirme que « la luminosité est un critère plus pertinent que la couleur ». Les astres noirs de la physique brillent ainsi de mille éclats énigmatiques... et ce petit livre aussi. Outre un texte lumineux et intelligent, il s'agit d'un bel objet à regarder et à offrir grâce aux illustrations oniriques de Scott Penner's. ■ **Azar Khalatbari**

Dieu est-il mathématicien ?



Mario Livio, Odile Jacob, 275 p., 23,90 €

Pas de théologie ici mais l'explicitation d'un mystère qui obsède les mathématiciens et tant d'esprits créatifs depuis des siècles : comment les mathématiques peuvent-elles être omniprésentes et omnipotentes quand ces qualités sont ordinairement réservées aux dieux ? Du mouvement des planètes aux marchés financiers en passant par le fonctionnement du cerveau, elles décrivent la réalité physique avec une

précision en effet redoutable. À cette « *dérisonnable efficacité des mathématiques* », selon l'expression du prix Nobel de physique (1963) Eugene Wigner, s'ajoute une autre énigme : comment se fait-il que des raisonnements mathématiques ô combien abstraits finissent toujours par trouver une application ? Inventée au XIX^e siècle, la « théorie des nœuds », par exemple, a été utilisée un siècle et demi plus tard pour décrire la structure de l'ADN ! Avec un grand talent de vulgarisateur, l'astrophysicien israélien Mario Livio raconte comment Pythagore, Newton ou Einstein ont abordé ces questions sur la nature même des mathématiques avant de livrer sa propre opinion. ■ **Franck Daninos**

CARNETS DE SCIENCE

Revue du CNRS, n° 1, CNRS éditions, 196 p., 12,50 €

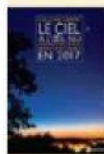
De l'anthropologie aux ondes gravitationnelles en passant par les mathématiques, la robotique, ou la physique quantique,



une revue, semestrielle vendue en librairie où retrouver des penseurs-chercheurs d'aujourd'hui (Cédric Villani, Serge Gruzinski, Philippe Grangier...) ou d'hier (Bourbaki...). ■ **S. S.**

LE CIEL À L'ŒIL NU EN 2017

Guillaume Cannat, Nathan, 144 p., 19,90 €



Cette quinzième édition de l'ouvrage de référence des astronomes amateurs annonce les phénomènes célestes à ne pas manquer : éclipses de Lune et de Soleil, étoiles filantes, comètes, conjonctions planétaires, etc., conseils pratiques, et cartes à l'appui. ■ **S. R.**

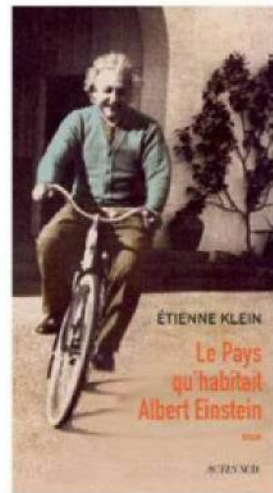
LE SOLEIL ET SON SYSTÈME

Anna Alter avec Hubert Reeves, Le Pommier, 13,90 €



Les enfants de 7 à 11 ans, vont se régaler : c'est toute l'histoire du système solaire qui leur est contée sous la plume amusante d'Anna Alter et avec les commentaires du célèbre astrophysicien Hubert Reeves. Les illustrations, un brin décalées, font sourire mais, mine de rien, ce petit livre expose avec brio les dernières hypothèses scientifiques. ■ **A. Kh.**

Le pays qu'habitait Albert Einstein



Étienne Klein, Actes Sud, 256 p., 20 €

Après le portrait tout en nuances du méconnu Italien Ettore Majorana, Étienne Klein s'attaque, cette fois, à un Everest de la physique : le célébrissime Albert Einstein dont la photo ornait déjà les murs de sa chambre d'adolescent. Ou plutôt, pour filer la métaphore cycliste, à un col de 1^{re} catégorie. Car c'est bien en partie à vélo que le chercheur du CEA, sportif comme son idole, est allé « enquêter » sur les traces du génie absolu, d'Aarau, Zurich et Berne (Suisse) à Prague, Bruxelles, Anvers, etc. Avec notamment cette question obsédante : comment parvient-on à ces hauteurs fulgurantes de pensée sans avoir recours à l'expérimentation ? Car c'est bien en cheminant le long de la Vltava à Prague ou en randonnée autour du lac de Côme avec Marie Curie qu'Einstein a pu déployer son génie, très loin des paillasses. L'auteur livre ici un exercice littéraire très personnel, même si l'on peut regretter que certains procédés, comme celui de faire dialoguer Einstein et Galilée, soient par trop rebattus. Étienne Klein en profite surtout pour tordre le cou à quelques idées reçues qui voudraient, par exemple, que $E = mc^2$ ait été la porte ouverte à la bombe atomique ou que la théorie de la relativité soit celle du relativisme. ■ **Carole Chatelain**



Lascaux, la colline sanctuarisée

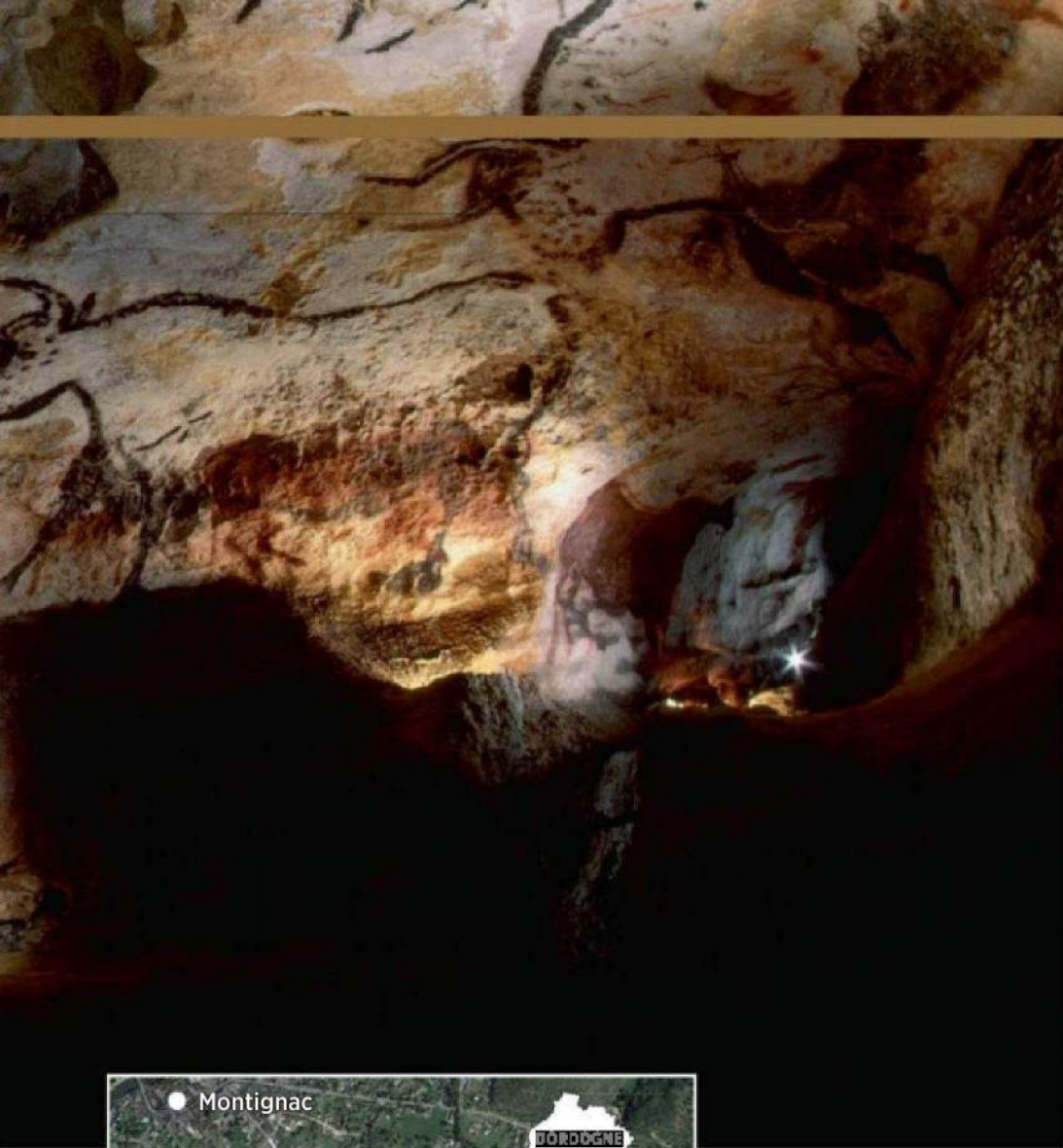
Une nouvelle copie de la célèbre grotte ornée est inaugurée ce mois-ci en Dordogne. L'objectif est de délester de milliers de visiteurs le site fragilisé. De récentes études géologiques ont contribué à mieux appréhender les « crises » qui s'y sont succédé.

Par Bernadette Arnaud

C'EST UNE COLLINE QUI FAIT LE DOS ROND. Un aimable promontoire verdoyant d'à peine 215 m d'altitude, dont le relief s'étire sur deux kilomètres le long de la rive gauche de la Vézère (Dordogne). Coiffée de taillis de châtaigniers et de grands pins, il en émane de douces sen-

teurs de giroles. Pourtant, cette colline n'a rien d'ordinaire. Ses entrailles de calcaire — des formations karstiques façonnées il y a des millions d'années — recèlent en effet l'un des trésors de l'humanité : la célèbre grotte de Lascaux. Une « chapelle Sixtine » 17 fois millénaires, où les occu-

pants du paléolithique ont fait courir sur la roche, en d'immémoriales cavalcades d'ocre et de manganèse, des troupes d'aurochs, de bouquetins, de bisons, de cervidés et de chevaux. Soit 600 peintures, 400 signes géométriques et 1500 gravures ! Mais en ce mois de décembre, le site va



SISSE BRIMBERG/NATIONAL GEOGRAPHIC CREATIVE



BETTY LAFON

connaître une agitation toute particulière. Un nouveau fac-similé des célèbres peintures — le troisième ! — (lire l'encadré p. 56) destination des touristes du monde entier ouvre ses portes. Objectif : soulager encore la colline d'une trop grande affluence qui menace toujours la grotte d'origine — fer-

Le nouveau fac-similé, Lascaux IV, a été édifié à la périphérie de Montignac, au pied de la colline où se trouve la grotte ornée afin de ne pas altérer davantage le site (photo du haut).

mée au public en 1963 — malgré l'ouverture en 1983 d'une première réplique, Lascaux II, située... à 200 mètres à peine. Car les experts se sont rendu compte que les aménagements nécessaires à l'accueil des 270 000 visiteurs annuels de Lascaux II ont à leur tour fragilisé le site inscrit au patrimoine mondial de l'humanité. Il était urgent et impératif de détourner encore le flux : Lascaux IV a donc été bâti en lisière de la petite cité périgourdine de Montignac pour cantonner voitures, cars et visiteurs le plus loin possible (lire l'encadré p. 56). La colline est en effet désormais « sanctuarisée ». Une décision qui doit beaucoup à la création en 2010 du Comité scientifique de la grotte de Lascaux, dirigé par Yves Coppens, le spécialiste de l'évolution humaine. Pour comprendre les enjeux, il faut en effet rappeler les graves

aléas qui, à l'orée des années 2000, ont failli altérer à jamais les peintures pariétales avec l'apparition sur les parois de la grotte d'une virulente prolifération fongique et microbienne.

Des moisissures blanches (*Fusarium solani*), associées à la bactérie *Pseudomonas fluorescens*, ont alors envahi le sas d'entrée, puis des galeries. Pis ! aucun traitement n'étant venu à bout des moisissures, des champignons noirs ascomycètes (*Ochroconis lascauxensis*) ont à leur tour fait leur apparition en 2006. La communauté scientifique crut revivre un cauchemar : celui de l'attaque des parois par les algues vertes engendrées par le gaz carbonique rejeté par les visiteurs, qui avait conduit à la fermeture de la grotte en 1963. L'hebdomadaire américain *Time* fit alors planer la menace d'une possible inscription de la grotte de Lascaux sur la liste des sites du patrimoine en péril de l'Unesco !

Un comité scientifique coordonne les études

Un électrochoc qui a débouché sur la création du Comité scientifique. Dès lors, le changement a été total. Plus question pour Yves Coppens, en collaboration avec la conservatrice Murielle Mauriac, de considérer la grotte comme un isolat : c'est désormais la colline dans son entier, et l'ensemble de son écosystème, qu'il s'agit d'étudier en association avec des archéologues, géologues, microbiologistes, hydrogéologues, pédologues et climatologues spécialistes des milieux souterrains. « Il fallait enfin sortir de la grotte pour comprendre ce qui s'y passe ! Étudier la colline, la terre, l'eau et la végétation qui la couvre », affirme ainsi Yves Coppens. Résultat : depuis 2013, les programmes se succèdent, comme celui chapeauté par Laurent Bruxelles, géomorphologue de l'Inrap, rattaché au Laboratoire Trace de Toulouse (CNRS), qui ►

► coordonne l'étude géologique de la colline (lire son portrait dans S. et A. n° 835, septembre 2016).

Et les premiers résultats ne se sont pas fait attendre. « Nous avons pu élucider la façon dont l'eau continuait à s'infiltrer dans la cavité. Pendant des années, les recherches s'étaient concentrées à la verticale de la grotte, or ce sont les pénétrations latérales qu'il fallait aussi comprendre », explique le géologue. Ce sont elles qui continuent en effet à « nourrir » les micro-organismes parasites sur les parois en apportant des matières organiques et des éléments chimiques depuis la surface. Laurent Bruxelles et son équipe ont également mis en exergue le rôle dévastateur joué par les différents aménagements créés depuis la découverte de la grotte. « En moins d'un siècle, la cavité et son environnement ont été plus déséquilibrés qu'en 17 000 ans auparavant », déplore-t-il. Ainsi d'énormes cavités ont été creusées dans les années 1950 par Roger Constant pour tenter de retrouver la véritable entrée de Lascaux. Des années durant, cet habitant de la colline a retiré des centaines

PHOTOS BERNADETTE ARNAUD



▲ Le géomorphologue Laurent Bruxelles examine, dans une grotte voisine de Lascaux, des « vermiculations » (ci-dessus, en gros plan), des agrégats composites également observés dans la grotte ornée.

PATRIMOINE

Lascaux IV, le nouveau fac-similé

Immersion totale garantie ! Dès le 15 décembre, Lascaux IV, le nouveau Centre international de l'art pariétal, va ouvrir ses portes en lisière de la petite cité périgourdine du Montignac. Là, dans un élégant bâtiment blanc semi-enterré, est désormais présentée l'intégralité des chefs-d'œuvre des chasseurs magdaléniens. Une différence fondamentale par rapport à Lascaux II, la première

copie inaugurée en 1983, qui ne reproduisait que la salle des Taureaux et une galerie baptisée « diverticule axial » ; et par rapport à Lascaux III, la version itinérante et en « kit » de la grotte ornée. Les 575 m² de peintures et gravures de Lascaux IV ont été reproduits strictement à l'identique par l'Atelier des fac-similés du Périgord (AFSP). Ce clone a été reconstitué dans un monde souterrain, où ont aussi

été simulées les conditions d'éclairage d'il y a 20 000 ans ainsi que l'odeur des pierres. Un challenge technologique et scientifique de plus de 57 millions d'euros porté principalement par la région Nouvelle-Aquitaine, le conseil général de la Dordogne, et l'Union européenne, pour ce chantier hors norme de 8800 m² au total. Car Lascaux IV comprendra d'autres pôles dont quatre salles supplémentaires qui



▲ L'intégralité de la grotte originelle va être présentée à échelle réelle (ici aménagement d'une salle).

de tonnes de sédiments constitués par le sable désagrégé des calcaires du crétacé, mettant le site partiellement à nu. « Paradoxalement, ces travaux nous servent aujourd'hui de modèle pour comprendre la composition du massif karstique et la façon dont fonctionnait la cavité, poursuit Laurent Bruxelles. La grotte de Lascaux est en fait une sorte d'îlot de calcaire cerné de poches de sable. Lorsque celles-ci sont remplies par les eaux de surface, elles gonflent comme des éponges et finissent par se déverser dans la cavité. »

De même, les flux d'eau ont été accélérés par la dégradation du terrain au-dessus de la grotte en raison des activités agricoles. Au début du xx^e siècle, l'épaisseur du sol entre la surface de la colline et le toit de la cavité était ainsi de 1,20 m... dont il ne subsiste aujourd'hui qu'une fine couche d'argile. Une situation que n'a pas améliorée la noria de milliers de cars venus déposer les touristes devant la réplique Lascaux II, les vibrations se faisant ressentir en profondeur.

Pour les scientifiques, l'objectif est désormais d'affaiblir tous ces

BIOCHIMIE

Elles veulent sauver la grotte

Huit étudiantes en génie biochimique de l'Institut national des sciences appliquées (Insa) et de l'université Paul-Sabatier de Toulouse ont mis au point une bactérie génétiquement modifiée susceptible de détruire les micro-organismes qui parasitent les parois de la grotte de Lascaux. Leur travail a été présenté en octobre lors du concours mondial de biologie de synthèse organisé par le Massachusetts Institute of Technology (MIT, États-Unis). Mais il est peu probable que leur solution soit testée un jour. « Aucun organisme n'entrera dans la cavité », affirme en effet Murielle Mauriac, conservatrice de la grotte. Il serait en effet trop risqué d'introduire un nouvel intrus...

apports d'eau mesurés en permanence par une batterie d'instruments au sein même de la grotte. Outre la construction de Lascaux IV, des mesures drastiques ont été prises comme l'assèchement des mares avoisinantes ainsi que la fermeture à la circulation automobile de la route du Regourdou, qui passait à moins de 10 mètres de la cavité et dont le creusement avait lui-même contribué à déstabiliser le site. « Des préconisations ont également été émises concernant la gestion des forêts de surface », poursuit Laurent Bruxelles, trop de vieux



LE + NUMÉRIQUE

Retrouvez notre reportage en images sur Lascaux IV sur sciaiv.fr/838lascaux

arbres menaçant de tomber, ce qui écorcherait un peu plus la fine pellicule d'argile restante. De même, les engins mécaniques ont été remplacés... par des chevaux pour éviter la création d'ornières dans lesquelles l'eau s'engouffre pour terminer sa course dans la grotte.

Un nouveau phénomène pour l'instant sans danger

En marge de ces études, un deuxième programme de recherche est en cours. Il concerne un nouvel et énigmatique phénomène appelé « vermiculations ». D'étranges formations en « agrafe » ont en effet été retrouvées par milliers sur certaines parois de Lascaux, formant des sortes d'agréats composites mêlant minéraux et matière organique. « C'est un phénomène qui semble dépendre à la fois de facteurs physico-chimiques et microbiologiques, explique Pierre-Yves Jeannin, directeur de l'Institut suisse de spéléologie et de karstologie (ISSKA), en charge de cette étude. Nous n'en connaissons pas clairement les causes ni les conditions dans lesquelles ils se forment. » Le spécialiste se veut cependant rassurant : « Il n'y a pas de danger particulier pour l'instant à Lascaux, aucune n'ayant atteint les œuvres. Il est juste nécessaire de prendre des mesures pour prévenir d'éventuelles évolutions. Des recommandations en ce sens devraient être proposées en 2018. »

Pour l'heure, ces phénomènes sont étudiés à l'intérieur de grottes voisines vierges de toute œuvre pariétale et situées dans les mêmes niveaux géologiques, ainsi que dans celle de Rouffignac. Lascaux, elle, reçoit la visite chaque semaine de deux agents chargés de sa surveillance, seuls habilités à pénétrer dans le sanctuaire préhistorique où, pour l'heure, les taches noires semblent avoir cessé de progresser. ■

@NarudaaArnaud



N. COLAS/LUX/AND A

permettront aux visiteurs, grâce à l'usage d'équipements interactifs, de compléter leurs connaissances. Des visites virtuelles d'autres grottes ornées inaccessibles comme Cussac, en Dordogne, ou Cosquer, la cavité sous-marine située dans les calanques près de Marseille, seront aussi possibles. Ainsi que des confrontations artistiques entre les œuvres de la préhistoire et des artistes contemporains dans des salles d'exposition. De son côté, Lascaux II ne sera pas pour autant fermé. Soulagée du trop grand nombre de visiteurs, elle devrait encore accueillir quelques groupes.

Le « tombeau du Christ » a été rouvert

L'édifice protégeant la roche sur laquelle le corps de Jésus aurait reposé est en cours de restauration dans l'église du Saint-Sépulcre à Jérusalem.

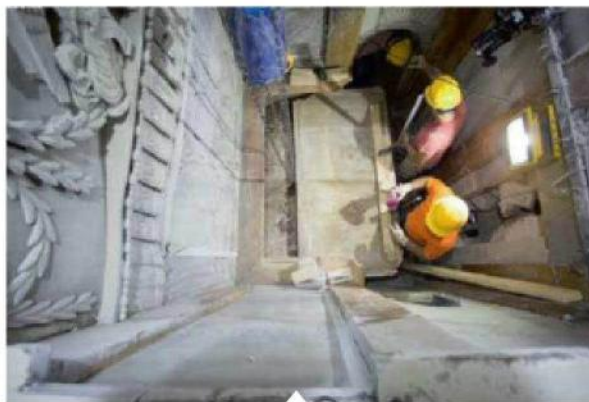
PERSONNE NE L'AVAIT REVUE DEPUIS 1555 ! Pour la première fois depuis des siècles, la roche de calcaire sur laquelle — selon la tradition — le corps de Jésus de Nazareth aurait été déposé après sa crucifixion a été à nouveau mise au jour par une équipe de scientifiques. Cette opération vient d'avoir lieu dans le cadre d'une opération de restauration au cœur de l'église du Saint-Sépulcre, à Jérusalem, un site considéré comme le lieu le plus sacré du christianisme. D'importants travaux de réhabilitation ont en effet été entrepris dans le petit édicule (du latin *aedicula*, « chapelle, niche ») qui enserme ce que les chrétiens reconnaissent comme le tombeau du Christ. Il menaçait de s'effondrer : en cause, des maçonneries fissurées, des mortiers de remplissage altérés, des supports métalliques corrodés. Et c'est en retirant les différents revêtements de marbre qui protégeaient le rocher sacré, que les experts, dirigés par Antonia Moropoulou, professeuse à l'Université polytechnique d'Athènes (NTUA), ont découvert une plaque de marbre : brisée, gravée d'une petite croix, elle pourrait remonter à l'époque des Croisades (XII^e siècle). Située juste au-dessous, la roche originelle de calcaire a été exceptionnellement dégagée et soumise trois jours durant à des examens, parmi lesquels de l'imagerie infrarouge et de la microscopie à fibre optique. C'est en 324 que l'empereur



GALITTEBON / AFP



D. VRANIC / NATIONAL GEOGRAPHIC / AP / SIPA



GALITTEBON / AFP

Au cours des travaux (en haut), les archéologues grecs ont enlevé une plaque de marbre (au centre) qui recouvrait le sol calcaire sur lequel le corps du Christ aurait reposé (en bas).

romain Constantin aurait fait édifier la première église du Saint-Sépulcre, à l'emplacement d'un temple consacré à Vénus élevé par Hadrien en 135, sur une carrière de pierre. Ce sanctuaire romain aurait lui-même été bâti au-dessus de sépultures parmi lesquelles se serait trouvée celle de Jésus. La construction ayant ensuite été endommagée par les Perses en 614, puis pillée en 1009 par le calife fatimide Al-Hakim, un nouvel édifice fut érigé en 1014, remplacé par un autre en 1555. Ce dernier, qui ne résista pas à l'incendie de 1808, a été reconstruit sous sa forme actuelle en 1810 sous les Ottomans. Mais de graves anomalies dans sa structure porteuse ont nécessité la pose d'un échafaudage de consolidation en 1947, du temps du mandat britannique.

60 ans de négociation avant que les travaux ne débutent

En 1700 ans, ce sont donc quatre « kiosques » différents qui ont été bâtis pour préserver le tombeau présumé du Christ ! Et il aura fallu 60 ans pour que les travaux de restauration débutent, le temps que les trois principales communautés religieuses qui se partagent la « gouvernance » du Saint-Sépulcre se mettent d'accord : orthodoxes grecs, catholiques romains, représentés par les Franciscains, et Arméniens. Le coût de l'opération, qui devrait s'achever en février 2017, s'élève à 3 millions d'euros. ■

Bernadette Arnaud

 @NarudaaArnaud



Mary Beard, Perrin, 590 p., 26 €

SPQR

Histoire de l'ancienne Rome

« Deux mille ans après, Rome nous aide toujours à définir notre rapport au monde », expose Mary Beard, l'une des plus importantes spécialistes de l'Antiquité. Dans son ouvrage *SPQR*, — *Senatus populusque romanus* « Le Sénat et le peuple romain », le sigle par lequel les Romains désignaient leur État —, l'historienne britannique revient avec talent sur l'histoire « de ce village insignifiant du centre de l'Italie, devenu un empire à cheval sur trois continents ». En s'interrogeant sur les conditions dans lesquelles a émergé une puissance à ce point dominante, elle révisé l'histoire à l'aune des plus récentes découvertes archéologiques : des documents exceptionnels retrouvés dans des épaves au fond de la Méditerranée ; ou encore l'analyse au microscope de fosses d'aisance de Herculaneum, qui ont permis de connaître le régime alimentaire de Mr et Mme Tout-le-monde ; tout en rappelant que les historiens d'aujourd'hui ne sont pas meilleurs que leurs prédécesseurs. Il ne s'agit ni du déclin ni de la chute de Rome, mais des raisons de son expansion et de sa longévité. Une histoire que l'auteure entame en 63 avant J.-C., avec la lutte entre Cicéron et Catilina, pour ensuite revenir sur les mythes fondateurs de la ville, et qu'elle achève en 212 de notre ère, avec l'édit de Caracalla qui généralise la citoyenneté romaine à tous les habitants de l'empire. Passionnant. ■ **Bernadette Arnaud**

DVD LES GRANDES DÉCOUVERTES ARCHÉOLOGIQUES

Collectif, ZED, 246 min, 30 €



Ces quatre films retracent le quotidien de chercheurs lors de fouilles récentes : tombes scythes en Mongolie, cité maya en Amérique centrale, village néolithique sous-marin... Leur principal mérite est de montrer l'importance du travail d'équipe et les vertus de la patience. ■ **I. do O'G.**

PONCE PILATE

Aldo Schiavone, Fayard, 244 p., 19 €



Qui était Ponce Pilate, préfet romain qui a gouverné la Judée pendant près de dix ans ? L'auteur interroge avec érudition les sources, tant chrétiennes que profanes. Il explore le face-à-face inouï entre Pilate et Jésus et explique comment le souvenir évangélique a pu se construire depuis la mort de celui qui se présentait comme le fils de Dieu. ■ **F. D.**

1916 EN MÉSOPOTAMIE MOYEN-ORIENT : NAISSANCE DU CHAOS

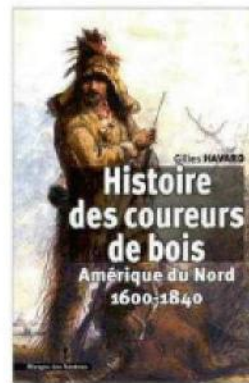
Fabrice Monnier, CNRS Éditions, 335 p., 25 €



La capitulation des Britanniques à Kut el-Amara, face aux Turcs, en 1916 est un épisode oublié de la Première Guerre mondiale. Après ce Dien Bien Phu britannique, Londres mis du temps à reprendre l'initiative. Il fallut 100 000 hommes au général Allenby pour occuper la Palestine et la Syrie en 1918... ■ **B. A.**

Histoire des coureurs de bois

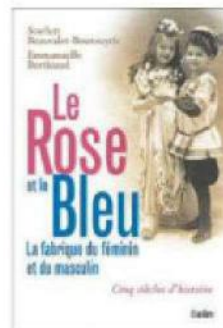
Amérique du Nord 1600-1840



Gilles Havard, Les Indes savantes, Coll. « Rivages des Xantons », 870 p., 35 €

Avec cet ouvrage, Gilles Havard, chercheur au CNRS, a remporté le Grand Prix 2016 des Rendez-vous de l'histoire de Blois. C'est au cœur de la vie des coureurs de bois — terme qui désignait à partir du XVII^e siècle les colons français d'Amérique du Nord qui s'aventuraient en territoire indien pour y pratiquer la traite des peaux. L'auteur retrace sur deux siècles et demi (1600-1840) l'histoire de ces pionniers qui ont précédé ceux de la conquête de l'Ouest dans l'exploration du continent. Une aventure métisse — les coureurs de bois adoptant les mœurs des peuples premiers parfois jusqu'à l'« indianisation » totale —, où sont multipliés les points de vue. Le monde des pelletiers, des comptoirs, des pratiques d'échange, le chamanisme, les mythes, les relations avec les femmes, le défi des langues, la question du langage du corps sont abordés dans cet ouvrage dense sur des mondes oubliés. ■ **B. A.**

Le Rose et le Bleu La fabrique du féminin et du masculin, cinq siècles d'histoire



Scarlett Beauvalet-Boutouyrie, Emmanuelle Berthiaud, Belin, 378 p., 23 €

Les couleurs assignées à un sexe sont une habitude récente des années 1950. Et pas anodine. Deux historiennes montrent ici comment la société a fabriqué des attributs associés au masculin et au féminin — autrement dit le genre — et comment l'idée d'une nature « biologique » a été dévoyée par la religion ou le politique. La compréhension de cette histoire est essentielle car elle a permis une hiérarchisation artificielle des sexes en faveur du masculin, qui perdure. Les chercheuses éclairent la façon dont s'est imposé cet ordre sociopolitique. La force de l'ouvrage est de s'intéresser au modelage des deux sexes, car le masculin et le féminin résultent d'un rapport social, l'un se construisant en fonction de l'autre. « En faisant une histoire des corps et de ses représentations, des lois juridiques et sociales, de l'éducation, des règles de l'apparence et des enjeux de pouvoir entre sexes, nous voyons se dessiner au fil du temps, des définitions changeantes et parfois surprenantes de ce qui fait de nous des hommes ou des femmes dans la société française. » ■ **Rachel Mulot**

— CONFÉRENCES CITOYENNES 2017 —

Organisées par l'Inserm et Universcience - Entrée gratuite - #ConfsanT



Les pouvoirs de l'esprit ?

Jeudi 16 mars
de 19h à 20h30



Tous exposés, tous concernés !

Jeudi 6 avril
de 19h à 20h30



Flore intestinale, attention fragile !

Jeudi 1^{er} juin
de 19h à 20h30

Un duplex entre la **Cité des sciences et de l'industrie** à Paris, et un **site partenaire régional**

Pour en savoir plus : www.inserm.fr — www.cite-sciences.fr/citedelasante



Jean-Laurent CASANOVA, Grand Prix

PRIX INSERM 2016



Catherine BARTHÉLÉMY, Prix d'Honneur



Linda P. FRIED, Prix International



Martine BUNGNER, Prix Opest-Inserm



Rosa COSSART, Prix Recherche



Xavier JOUVEN, Prix Recherche



Benjamin MATHIEU, Prix Innovation



Céline TOMKIEWICZ-RAULET, Prix Innovation

Par-delà les barrières

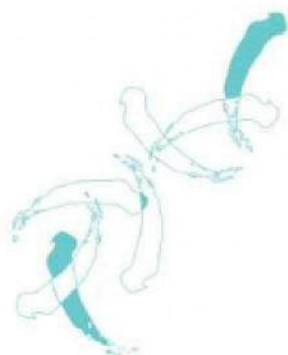


Dominique Leglu
Directrice de la rédaction
de *Sciences et Avenir*

Une chose frappe à l'occasion de cette remise des Prix Inserm 2016, dont *Sciences et Avenir* a, une fois encore, l'honneur d'être partenaire : rien ne vaut l'échange par-delà les barrières, qu'elles soient de disciplines ou de méthodes. C'est de ces regards différents, nés d'approches diverses, que naissent des idées. De très bonnes idées. Celles qui, en retour, parce que les impétrants les mettent au service de la santé – Institut national de la santé et de la recherche médicale oblige – favoriseront bien des guérisons.

C'est parce que, obstinément, il a voulu regarder les maladies infectieuses sous l'angle de la génétique que Jean-Laurent Casanova, Grand Prix, a pu apporter la preuve de l'importance de certains gènes dans les graves réactions que des malades présentent face à des germes habituellement anodins. Et grâce à cela, de nouveaux traitements se profilent déjà. C'est parce qu'ils ont une approche mathématique dans leurs domaines respectifs que Rosa Cossart et Xavier Jouven, tous deux Prix Recherche, font avancer compréhension de l'épilepsie pour l'une, méthodes en épidémiologie pour l'autre. En clair,

tous ont pris le risque d'innover. Ce peut être dans l'art de poser un regard neurologique sur cette maladie invalidante qu'est l'autisme (Prix d'Honneur à Catherine Barthélémy). Ce peut être pour la création d'un nouveau logiciel qui aide l'optique à sa manière et permet de mieux voir l'activité des neurones chez un être vivant, ou pour une nouvelle approche sur les modes d'action des polluants sur les cellules – deux Prix Innovation, Benjamin Mathieu et Céline Tomkiewicz-Raulet. Sans oublier de s'attaquer à l'une des principales barrières à faire tomber : celle entre science et société. C'est parce qu'elle ne voulait pas la recherche enfermée derrière des murs mais participative que Linda Fried, Prix International, a levé une armée de retraités volontaires pour aider des jeunes – ce qui, en retour, aide ces personnes âgées qui auraient pu sombrer dans la dépression, car se croyant inutiles ! Quant à Martine Bungener, économiste et sociologue de la santé, Prix Opecst-Inserm, c'est parce qu'elle a voulu faire profiter les chercheurs de ces experts « malgré eux » de leur maladie que sont les malades et leurs proches, qu'elle a été récompensée. À tous, bravo ! ■



Lier génétique et maladies infectieuses

Pour le pédiatre et spécialiste d'immunologie Jean-Laurent Casanova, les maladies infantiles infectieuses résultent dans certains cas d'une lésion génétique qui empêche le système immunitaire de défendre correctement l'organisme face aux agents pathogènes.

« **L**es maladies infectieuses graves sont parfois, et peut-être souvent, aussi des maladies génétiques qui rendent vulnérable au microbe », affirme Jean-Laurent Casanova*. Professeur de pédiatrie et d'immunologie moléculaire à l'université Rockefeller, à New York, et à l'école de médecine de l'université Paris-Descartes, il y dirige le laboratoire Inserm de génétique humaine des maladies infectieuses. Il travaille sur le sujet depuis plus de vingt ans. « Pour l'instant, l'hypothèse est correcte, assure celui qui cherche à comprendre pourquoi, en présence d'un agent infectieux, seule une petite proportion de personnes va développer une maladie grave. » Le patrimoine génétique de ces dernières, présenterait des mutations génétiques ponctuelles et rares qui compromettent l'intégrité de leur système immunitaire face à un germe particulier. Voilà pourquoi une grippe, presque banale chez certains enfants, peut en terrasser d'autres.

Pour la cause des enfants

Choqué par cette injustice qui frappe les enfants malades et intéressé par l'organisme en

développement, Jean-Laurent Casanova s'oriente vers la pédiatrie dès ses études de médecine, terminées à la fin des années 1980. Il enchaîne aussitôt par une thèse d'immunologie moléculaire, qu'il commence à l'Institut Pasteur à Paris, et achève au *Ludwig Cancer Research*, à Lausanne, en Suisse. Dès lors, le lien entre pédiatrie et immunologie est établi. Le médecin consacre ensuite l'ensemble de sa carrière aux maladies infectieuses infantiles (par exemple tuberculose, infection pneumococcique invasive, encéphalite herpétique), qu'il soupçonne, depuis ses débuts, d'être des maladies génétiques. Dès son arrivée comme chef de clinique à l'hôpital Necker-Enfants malades, à Paris, il planche sur le sujet. En étudiant des enfants qui développent de graves maladies causées par des mycobactéries peu virulentes, comme le bacille de Calmette-Guérin atténué, c'est-à-dire le vaccin contre la tuberculose, il isole d'abord une première mutation qui altère la réponse immunitaire. Par la suite, plusieurs autres lésions génétiques impliquées dans des déficits immunitaires seront à leur tour isolées. Toutes rendent leurs porteurs très vulnérables aux mycobactéries responsables de la tuberculose.



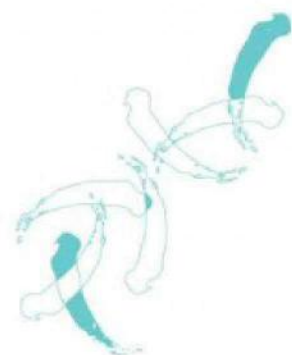
Jean-Laurent CASANOVA, Grand Prix

Vérifier l'hypothèse

De son côté, le virus de l'herpès ne provoque qu'un bouton de fièvre chez la plupart des personnes. Mais, chez 1 enfant sur 10 000, il pénètre dans le système nerveux central et entraîne une encéphalite susceptible de tuer le petit ou de lui laisser de graves séquelles neurologiques. Depuis 2006, date à laquelle Jean-Laurent Casanova et son équipe ont identifié la mutation génétique à l'origine d'une protéine de l'immunité défectueuse (un TLR, *Toll-like*

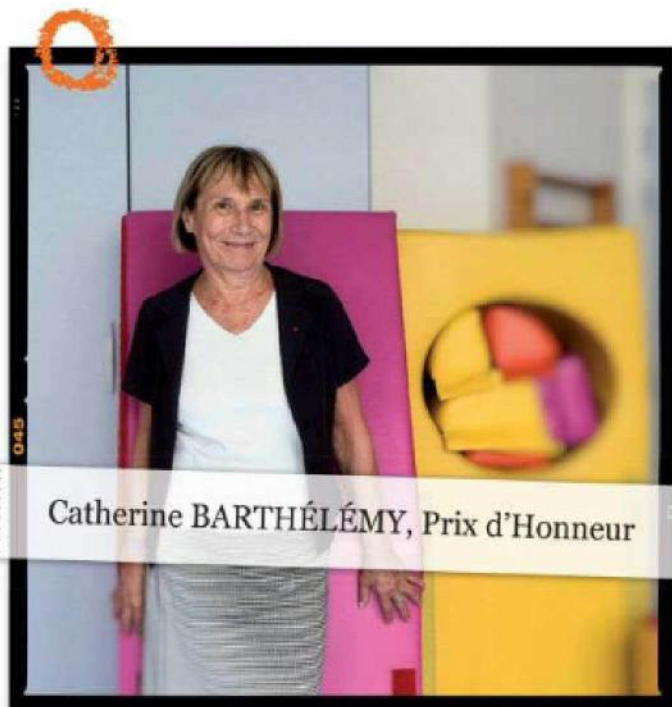
receptor, en anglais), un traitement simple, en cours d'évaluation, peut être proposé à ces enfants. Ainsi, chaque fois que le scientifique a étudié des cas cliniques de graves réactions à des germes habituellement anodins, il a vérifié sa théorie génétique des maladies infectieuses. Reste à la démontrer définitivement, et ce sera peut-être la voie vers un prix plus prestigieux encore. ■

*Unité 1163 Inserm/Université Paris-Descartes



Au bonheur des autistes

En modifiant son regard sur les enfants autistes et leur famille, la pédopsychiatre et neuroscientifique Catherine Barthélémy a contribué à déculpabiliser les mères et favoriser les progrès de leur progéniture.



Catherine BARTHÉLÉMY, Prix d'Honneur

Des troubles neurobiologiques

« L'autisme est une difficulté à communiquer avec les autres, à être dans une interaction réciproque, à s'adapter au changement, poursuit Catherine Barthélémy. Les personnes éprouvent aussi des difficultés sensorielles ». Ces maladies, désormais nommées « troubles du spectre de l'autisme », sont très variées et évoluent tout au long de la vie. Après ses études de médecine, pour en savoir plus, la tourangelles se spécialise en neurosciences. Au pied levé, la jeune mariée quitte sa ville pour un an au Collège de France, à Paris. Dans ce contexte très dynamique, elle œuvre à sa thèse en neurochimie, « un travail collectif et interdisciplinaire pour montrer les relations entre les éléments neuropsychologiques, comportementaux et neurobiologiques. » Elle prend goût à l'absence de cloison entre les neurosciences et la psychiatrie, la clinique et la recherche, les médecins et les familles. Pour ces dernières, l'hôpital de Tours, où elle revient vite, devient une seconde maison. En 1983, elle participe à la création d'Arapi, l'association pour la recherche sur l'autisme et la prévention

des inadaptations, « un partenariat fondateur entre chercheurs et parents », témoigne-t-elle. Les premiers résultats, qui prouvent que les troubles autistiques sont liés à une maladie neurologique, tombent dans les années 1990.

Un environnement propice

Aujourd'hui, professeure émérite, Catherine Barthélémy poursuit ses travaux. « Quand les enfants sont placés en conditions favorables et confortables, où l'on évite de les mettre en échec, ils font des progrès. Avec des techniques d'imagerie cérébrale, nous observons une correspondance entre ces avancées et le fonctionnement du cerveau. » Le médecin joue aussi un rôle d'expert auprès de diverses instances et doit structurer la recherche au niveau national sur le sujet, tout en espérant « faire avancer la formation des soignants et les pratiques médicales. » Ici encore, son ouverture d'esprit est un atout. D'ailleurs, elle l'entretient une fois par semaine au moins en tenant table ouverte aux artistes, ses amis, qui « ont compris que la différence est une richesse. » ■

Quand Catherine Barthélémy, jeune médecin à Tours, découvre l'autisme dans les années 1970, « on abandonnait le plus souvent ces enfants aux asiles psychiatriques », se remémore-t-elle. À l'époque, les mères sont accusées de souffrir de troubles affectifs qui rendent leur enfant psychotique. La professeure émérite de la faculté de médecine de Tours, et ancienne directrice de l'équipe Autisme de l'Inserm, a voué sa carrière à

démontrer le contraire. « En tant que chercheur, médecin, pédopsychiatre et neuroscientifique, j'ai contribué, avec mon équipe, à faire la preuve que l'autisme est un trouble lié à l'anomalie très précoce du neurodéveloppement du cerveau. Un réglage particulier des décodeurs cérébraux des informations sociales altère les capacités du bébé à établir une relation avec d'autres humains. Cela n'a rien à voir avec une quelconque défaillance maternelle », résume-t-elle.

Prévenir la fragilité de l'âge

Gériatre mondialement connue, Linda Fried a mis au jour le syndrome de fragilité liée à l'âge. Dans la foulée, elle a aussi développé un programme de tutorat intergénérationnel qui pourrait le prévenir.

Dans les années 1980, l'humanité occidentale a fait face à un événement démographique sans précédent : la durée de vie s'est considérablement allongée. « On considérait ce flot de personnes âgées comme un désastre pour la société », se souvient Linda Fried, gériatre et épidémiologiste à l'université Columbia, à New York. Pour elle, ce fut plutôt un challenge à relever. Depuis, la scientifique a développé le concept de fragilité, « un nouveau syndrome biologique et cli-

nique lié au vieillissement ». La chercheuse a ainsi identifié des critères cliniques simples qui, pris ensemble, permettent le diagnostic : fatigue, diminution d'appétit, faiblesse musculaire, ralentissement de la vitesse de marche et faible activité physique.

Un rôle social pour les vieux

« Vers la fin des années 1980, je voyais beaucoup de personnes âgées qui consultaient pour des soucis de santé, voire une dépression, raconte la gé-

riatre. Mais quand je les écoutais attentivement, je comprenais qu'ils n'avaient pas de raison de se lever le matin. Le phénomène concernait une majorité de retraités, quelle que soit leur activité passée. » Ce constat la conduit à imaginer les *Experience Corps*, une armée de retraités volontaires qui interviennent en soutien scolaire dans les écoles publiques maternelles et élémentaires. Lancé en 1996, le projet concerne aujourd'hui 23 villes américaines et quelques pays étrangers. Dans l'État du Maryland, la scientifique et son équipe ont lancé un essai clinique randomisé. Il rassemble 700 adultes âgés, dont 350 sont engagés dans l'expérience. Les résultats, encore à l'étude, sont prometteurs. « Nous avons prouvé que l'engagement dans ce programme préserve la mémoire, les fonctions exécutives et la vitesse de marche des personnes âgées, affirme Linda Fried. Nous le voyons à partir de tests des capacités mentales ainsi qu'avec l'imagerie cérébrale, qui montre l'activation d'aires cérébrales qui n'étaient pas activées avant la participation au programme. À partir d'un an, il y a en effet une grande différence entre l'avant et l'après. C'est la

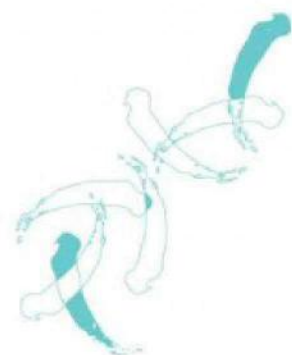
première fois qu'on apporte la preuve de l'effet d'une intervention pour prévenir le déclin cognitif et la démence. » Les enfants accompagnés sortent eux aussi gagnants. L'étude montre qu'ils lisent mieux, ont moins de problèmes de comportement et sont dans une meilleure position d'apprentissage.

Redessiner la société

En généralisant l'expérience, Linda Fried pourrait atteindre son but ultime : redessiner les contours de la société pour donner une vraie place à chacun. Un projet ambitieux, pour une chercheuse audacieuse. Après avoir étudié l'histoire et la philosophie à l'université, la jeune Linda est en effet passée d'un cabinet d'avocats aux dojos d'aïkido, où elle obtient une ceinture noire. Intriguée par la santé, c'est ensuite qu'elle tente d'intégrer des études de médecine. Or, à l'époque, elles sont majoritairement réservées aux hommes, les mandarins américains ne tolérant qu'un quota de 3 % de femmes. Une étroite fenêtre dans laquelle se faufile la jeune littéraire, avec succès, pour devenir la scientifique de renom que nous connaissons aujourd'hui. ■



Linda FRIED, Prix International



Favoriser le dialogue science-société

Économiste et sociologue de la santé, Martine Bungener a participé à la reconnaissance du savoir des malades et de leurs proches. Aujourd'hui, elle facilite l'échange entre ces derniers et les chercheurs.



Martine BUNGENER, Prix Opecst-Inserm

Le travail gratuit des proches

Son intérêt pour les sciences sociales de la santé remonte aux années 1970. À l'époque, elle est chargée d'étudier la croissance des dépenses de santé. « Mais c'est compliqué de compter des consultations lorsqu'on ne sait pas ce qu'il se passe dans le cabinet du médecin », évoque-t-elle. Au même moment, débute le système d'hospitalisation à domicile. En pénétrant avec les soignants chez les patients, elle met en évidence un transfert de coûts de l'Institution vers les familles. Elle révèle le « travail gratuit des proches, qui jouent un rôle d'auxiliaires du soin. Sans eux, l'hospitalisation à domicile ne peut pas bien se passer. Ce qui était invisible est devenu visible, mais n'est pas reconnu à sa juste valeur. L'hôpital reste un monde très hiérarchique où le savoir des patients et des proches est faiblement reconnu. » À l'heure du virage ambulatoire plébiscité aujourd'hui par les autorités sanitaires, ses travaux reviennent sur le devant de la scène.

La recherche, un acteur social

Pourtant, rien ne prédestinait l'intellectuelle à pareil sujet. Issue d'une famille « classique », elle fait

toute sa scolarité dans un établissement privé « pas très ouvert sur le monde ». En 1967, après le bac, elle s'inscrit à l'université à Nanterre. Sans transition, elle vit « un choc culturel fabuleux » et adore ça ! Elle quitte alors sa connaissance du monde « très livresque » et chaque matin, pour rejoindre les bancs de la fac depuis la gare, traverse un bidonville, qui la sensibilise davantage aux autres. Elle comprend que « les dysfonctionnements de l'économie ont des répercussions sur le monde social, la santé et la maladie. » Elle intègre ensuite une équipe de recherche en économie de la santé, puis participe à la création du Laboratoire d'économie et de gestion des organisations de santé (Legos). Dès lors, elle ne cessera de s'intéresser aux fonctions sociales de la médecine. Désormais chercheur émérite, elle veut favoriser, notamment via le Gram, « l'avancée des connaissances dans le but d'être traduite en soins pour les malades. » Si elle regrette l'hostilité de certains chercheurs à une collaboration avec les patients, elle se réjouit du mouvement pris par d'autres. Au contact des malades, ils se disent remotivés, conscients de leur rôle social et trouvent un nouveau sens à leur métier. ■

Parfois reconnus comme experts de leur maladie, les patients et leurs proches ont accumulé une foule de savoirs qui peuvent être utiles aux chercheurs, notamment en leur ouvrant de nouvelles pistes. Vice-versa, les malades ont aussi besoin de connaître et de comprendre les résultats de la recherche. Martine Bungener, chercheuse au Cermes3, le Centre de recherche médecine, sciences, santé, santé mentale, société

de Villejuif, s'est fait l'artisan de ce dialogue. Depuis plusieurs années, elle préside le Groupe de réflexion avec les associations de malades de l'Inserm. Baptisé Gram, il rassemble des associations de malades, des chercheurs et des administratifs de l'Institut. « C'est une instance de dialogue, un organe de rencontre ouvert et non hiérarchique, pérenne. Il permet une valorisation sociale de la recherche », précise la chercheuse, à la fois économiste et sociologue de la santé.

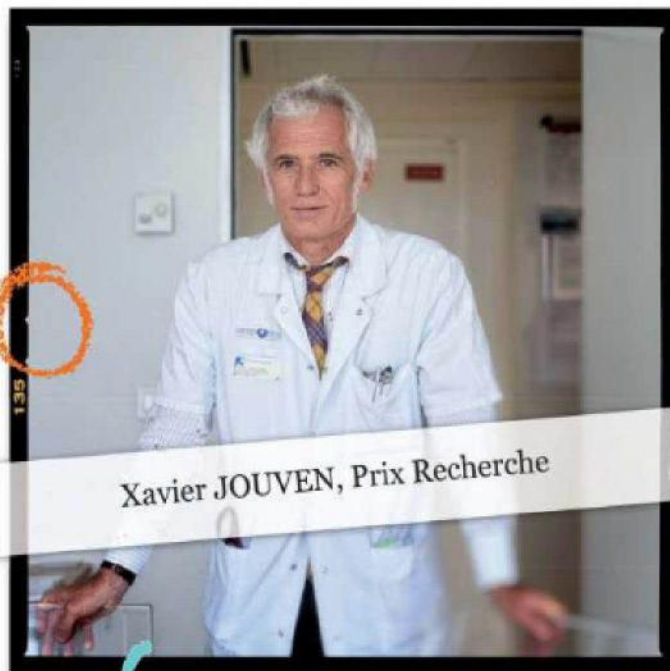
Lorsque la souris marche, une série de neurones organisés en réseau s'active dans son cerveau. Ce type d'activité intéresse spécialement Rosa Cossart*, de l'Institut de neurobiologie de la Méditerranée, à Marseille. Elle travaille aujourd'hui sur l'hippocampe, une région cérébrale connue pour jouer un rôle important dans les processus de mémorisation. « *Nous y avons observé des séquences d'activation neuronale répétées quand l'animal se déplace, détaille-t-elle. On dirait que ces réseaux neuronaux, tels des musiciens, jouent des gammes. Ces gammes sont comme une mesure de la distance parcourue par l'animal. Et dès qu'il s'arrête, les neurones rejouent une petite partie de ces gammes. Un peu comme si, cette fois, il s'agissait d'accords !* » Cette seconde activité de petits groupes de neurones devrait jouer un rôle dans l'encodage et la consolidation de la mémoire. Leur activité électrique est en effet fréquemment associée à une oscillation très rapide que l'équipe de Rosa Cossart a enregistrée avec une électrode fichée directement dans l'hippocampe. « *Chez l'animal adulte, ce type d'activité électrique s'apparente à des briques élémentaires de mémoire, poursuit la chercheuse. Nous voulons maintenant étudier le phénomène au cours de développement.* »

Quand l'hippocampe joue ses gammes

Voilà en effet quinze ans que la scientifique veut comprendre l'organisation fonctionnelle des réseaux neuronaux. Par le passé, elle a montré comment, chez les épileptiques, les neurones inhibiteurs se coordonnent entre deux crises. Ingénieure de formation, Rosa Cossart applique sa logique mathématique aux neurosciences. ■

* Unité 901 Inserm/Aix-Marseille Université

Et la médecine devient mathématiques



Xavier JOUVEN, Prix Recherche



Rosa COSSART, Prix Recherche

la fois cardiologue et statisticien, n'en revient pas des possibilités de son jouet. Avec une équipe médicale pluridisciplinaire d'une quarantaine de personnes, il a développé des modèles mathématiques capables de prendre en compte une foule de variables, certaines n'ayant a priori rien à voir avec le sujet étudié. Débuté voilà cinq ans, le projet le plus abouti porte sur le rejet de greffe du rein. « *Il permet de repérer les personnes qui sont en train de faire un rejet à bas bruit, c'est-à-dire avant même que l'on puisse s'en rendre compte cliniquement* », illustre le chercheur. L'administration d'un traitement adéquat permettra alors de sauver l'organe avant qu'il ne soit trop tard. « *Faire tourner ce modèle mathématique nous a aussi permis de décrire une maladie inconnue – un nouveau type de rejet de greffe : le rejet humoral vasculaire –, d'identifier de nouveaux moyens de diagnostic et, surtout, de faire appliquer des critères plus performants sur le terrain* », se réjouit Xavier Jouven. L'épidémiologie intégrative, qui mêle toutes les spécialités médicales, ouvre un champ de recherche considérable. De quoi enthousiasmer le triathlète de longue date, qui raconte, rit et pédale à la fois, sans s'essouffler. Son équipe a d'ores et déjà développé plusieurs modèles sur la mort subite, la santé globale dans les pays pauvres et la transplantation. Et ce n'est qu'un début ! ■

* Unité 970 Inserm/ Université Paris-Descartes

« **L'**épidémiologie intégrative est exploratoire alors que l'épidémiologie classique est plutôt descriptive », explique Xavier Jouven*, du Paris-Centre de recherche cardiovasculaire. Le chercheur, à

Quelle influence les polluants peuvent-ils avoir sur l'évolution des cancers du sein ? Favorisent-ils par exemple l'apparition de métastases ? Agissent-ils directement sur la cellule cancéreuse ou par l'intermédiaire de cellules voisines ? C'est ce que cherche à savoir Céline Tomkiewicz-Raulet*, ingénieure d'étude Inserm à l'unité Toxicologie, pharmacologie et signalisation cellulaire, au Centre universitaire des Saints-Pères à Paris, qui gère également les aspects techniques et scientifiques du service commun de biochimie et biologie moléculaire de la Faculté des sciences fondamentales et biomédicales. Pour apporter des éléments de réponse, la chercheuse travaille sur deux types cellulaires distincts : une lignée de carcinome mammaire et une autre de tissu adipeux humain. « Les toxiques se fixent principalement dans les cellules adipeuses, explique-t-elle. Or, il y en a beaucoup dans le sein y compris lorsqu'une tumeur s'y développe. » Stockés dans le gras de la poitrine, les polluants sont libérés à très faible dose. Céline Tomkiewicz-Raulet s'est plus spécialement intéressée aux dioxines, des polluants organiques persistants dans l'environnement. Sous-produits de divers processus industriels, ils contaminent l'homme essentiellement via sa consommation de

Quand le gras déstocke ses polluants

produits animaux (viande, poisson, lait). Ces toxiques sont déjà accusés de provoquer une série de troubles sur les systèmes immunitaire et hormonal, allant jusqu'à entraîner des cancers. Mais l'ingénieure a également

montré que lorsqu'ils sont présents dans les cellules adipeuses, ils modifient l'évolution des cellules cancéreuses voisines. De quoi mieux comprendre l'influence de l'environnement sur ce type de maladies. ■

* Unité 1124 Inserm/Université Paris-Descartes



Céline TOMKIEWICZ-RAULET, Prix Innovation

Voir l'activité électrique des neurones



Benjamin MATHIEU, Prix Innovation

supérieure de Paris. Cet ingénieur, qui collabore étroitement avec physiiciens et biologistes, a développé entre autres le logiciel et l'électronique du microscope. Il a aussi permis de le rendre accessible aux chercheurs avec une grande facilité d'utilisation. Voilà en effet dix ans qu'il travaille sur le sujet et il « apprécie beaucoup d'offrir une technologie qui va avoir un impact important sur la science. » En parallèle, Benjamin Mathieu gère la plateforme d'imagerie de l'Institut de biologie. « Je suis tombé dans la microscopie par hasard », confesse-t-il. Recruté très jeune par l'Inserm, à tout juste 23 ans, il fait la rencontre de Stéphane Dieudonné, aujourd'hui directeur de recherche dans la même équipe. Le biologiste et l'ingénieur ont passé des nuits et des week-ends à développer leur machine spécifiquement dédiée aux neurosciences. « Une activité presque fusionnelle ! » s'amuse le jeune scientifique. Un pari réussi, puisqu'un deuxième système du même type, équipe désormais le centre de neurophotonique de l'université Laval, à Québec. Aujourd'hui, le duo veut passer à la vitesse supérieure et commercialiser l'appareil à plus large échelle. « Nous essayons de créer une start-up, mais c'est compliqué », reconnaît Benjamin Mathieu, qui apprécie pourtant ce nouveau défi. ■

* Unité 1024 Inserm/CNRS - École normale supérieure, Paris

« Nous avons développé un microscope qui permet de mesurer optiquement avec une grande précision l'activité des neurones dans un animal entier, vivant et capable de bouger », se réjouit Benjamin Mathieu*, de l'Institut de biologie de l'École normale

8^e CROISIÈRE DU SAVOIR
« Grèce, berceau des sciences »Venez fêter le 70^e anniversaire de votre journal,
aux sources du savoir, en compagnie de ces grands scientifiques !

Que nous pensions à l'infini ou au carré de l'hypoténuse, à Prométhée qui apporta le feu sacré aux hommes ou à Gaïa dont le nom imprègne notre géologie, géométrie et autre géolocalisation... notre regard se tourne vers la Grèce. De sa civilisation antique où Ernest Renan vit un miracle, nous continuons de nous inspirer. Que l'on veuille remonter aux racines

de la démocratie, rechercher l'inspiration de la philosophie ou des mythes, le charme des comédies ou l'épouvante des tragédies. Venez donc nous rejoindre et tel Ulysse voguant vers sa Pénélope, laissez votre imagination flotter sur la ligne d'horizon, au bastingage du Berlin, pour une croisière dans des îles nimbées du bleu magique de la Méditerranée. DL

ILS SERONT AVEC VOUS PENDANT TOUTE LA CROISIÈRE**Yves Coppins**

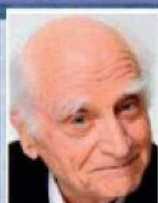
L'Académicien et professeur au Collège de France racontera les extraordinaires découvertes de ces dernières décennies sur Homo Sapiens. **Dernier ouvrage paru :** « Le Présent du passé au cube : des nouvelles de la préhistoire ».

Dominique Leglu

La directrice de la rédaction de Sciences et Avenir expliquera infiniment petit et infiniment grand : ondes gravitationnelles, trous noirs, boson de Higgs... **Dernier ouvrage paru :** « Les dossiers noirs du nucléaire français ».

Hervé Le Treut

L'Académicien et directeur de l'Institut Pierre-Simon-Laplace fera le point sur l'évolution possible du climat de ces prochaines décennies, après l'accord de Paris. **Dernier ouvrage paru :** « Sur quelle planète bleue ai-je atterri ? »

Michel Serres

L'Académicien et professeur à l'Université de Stanford nous fera partager la pensée grecque, dont il est un connaisseur hors pair. **Dernier ouvrage paru :** « Darwin, Bonaparte et le Samaritain - Une philosophie de l'histoire ».

Cédric Villani

Le directeur de l'Institut Poincaré, médaille Fields 2010, dévoilera en quoi les mathématiques, sa passion, sont une clé de compréhension fondamentale du monde. **Dernier ouvrage paru :** « Les coulisses de la création ».

**Olivier Lascar**

Rédacteur en chef du pôle digital de Sciences et Avenir

Pendant la croisière du 70^e anniversaire « L'œil de Lascar » continue !

**Cédric Cabanne Conférencier Plein Cap**

De son passé d'enseignant en histoire et géographie il a conservé le goût de la pédagogie ! Il vous racontera l'histoire des deux pays visités au cours de la croisière : l'Italie et la Grèce, et vous présentera vos escales.

AVEC AUSSI**Le trio Philippe Duchemin !**

Un choix d'excursions optionnelles aux escales, avec bus privatifs et écouteurs individuels



Île de Santorin



Le canal de Corinthe



Monastère dans l'île d'Amorgos



Laurea de Delphes



Jour	Escales	Arr.	Dép.
21/09	Nice	-	14h00
22/09	En mer		
23/09	Messine (Sicile)	07h00	12h00
24/09	Pylos (Grèce)	14h00	20h00
25/09	Santorin (Grèce)	12h30	00h00
26/09	Amorgos (Grèce)	07h00	13h00
-	Mykonos (Grèce)	18h00	21h00
27/09	Canal de Corinthe	07h00	09h00
-	Itea (Grèce)	13h00	20h00
28/09	Argostoli (Grèce)	07h00	13h00
29/09	Reggio de Calabre	08h30	13h00
30/09	Civitavecchia	13h30	18h30
01/10	Nice	13h00	

A l'ancre - Débarquement en chaloupe si les conditions météorologiques le permettent.

À partir de 1.940 €

par personne en **cabine intérieure**, catégorie 1 occupée par **2 personnes**.
Hors excursions optionnelles et pourboires facultatifs

Ce prix comprend :

- La croisière à bord du M/s BERLIN en pension complète du dîner du 1^{er} jour au petit déjeuner du dernier jour. Les boissons sont incluses à tous les repas.

● La présence (sauf raison de force majeure) pendant toute la croisière, et les conférences, des scientifiques invités par Sciences et Avenir.

- Des animations de qualité chaque soir (Jazz, variétés, soirée classique etc.).

- L'équipe d'encadrement Plein Cap.

- Les assurances assistance rapatriement.

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS : PLEIN CAP «croisière du savoir»

CROISIÈRES PLEIN CAP : 251 ROUTE DE LA COLLE 06270 VILLENEUVE-LOUBET info@plein-cap.com Tél. 04 93 20 21 20

Consultez et téléchargez la brochure sur le site web : croisiere-du-savoir.fr

Les aventuriers de l'océan Austral

Pour la première fois, une expédition internationale va effectuer une circumnavigation de 30 000 kilomètres autour de l'Antarctique. Analyses des milieux marins, des glaces et de la faune sont au programme pour mieux comprendre la machine climatique terrestre.

Par Sylvie Rouat

LE 20 DÉCEMBRE, l'*Akademik Triouchnikov*, un brise-glace russe destiné à la recherche scientifique, lèvera l'ancre depuis le port du Cap, en Afrique du Sud. Il se dirigera ensuite vers l'archipel du Prince-Édouard, avant de voguer d'île en île, vers Crozet, Kerguelen et les archipels subantarctiques. Quelques escales au programme : le glacier Mertz, non loin du pôle sud magnétique en Antarctique, puis Hobart, en Tasmanie (Australie), Punta Arenas, au Chili, et retour en Afrique du Sud (voir la carte page ci-contre). Soit trois mois d'une aventure inédite nommée Antarctic Circumnavigation Expedition (ACE), lancée par le tout nouvel Institut polaire suisse (SPI) fondé au printemps dernier notamment par l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) (lire aussi p. 106). Avec pour objectif l'étude des pôles et des environnements extrêmes : cette circumnavigation consistera à faire le tour du continent blanc et à explorer l'océan Austral, le quatrième en superficie (20 millions de kilomètres carrés) et le seul qui jouxte les trois autres océans (Indien, Atlantique et Pacifique).

À bord, 55 chercheurs issus de 30 pays (dont 13 Français) auront pris leurs quartiers. Ils mettront

en œuvre 22 expériences dans des domaines aussi variés que la glaciologie, la climatologie, la biologie et l'océanographie, toutes destinées à comprendre le rôle majeur de cet océan. Car bien qu'il « affecte profondément la machine climatique globale, l'océan Austral demeure le moins connu de la planète », souligne Jean Jouzel, climatologue et glaciologue à l'institut Pierre-et-Simon-Laplace (Guyancourt, Yvelines). À tel point qu'il n'a reçu son nom définitif... qu'en l'an 2000 ! Il y a pourtant urgence à l'explorer, car bien que largement préservés de l'implantation et des activités humaines, les environnements polaires en subissent de plein fouet les

55
chercheurs
(dont 13 Français)
issus de
30
pays
22
expériences

conséquences. Les résultats de cette ambitieuse expédition scientifique devraient inspirer concrètement les négociations internationales qui devraient s'ouvrir dans les prochaines décennies pour la préservation des pôles. À l'initiative du projet, un homme : l'entrepreneur millionnaire Frederik Paulsen, infatigable arpenteur des régions polaires et extrêmes (lire ci-dessous). C'est ce petit-fils d'un capitaine au long cours qui finance en grande partie l'expédition et le fonctionnement de l'institut suisse, à hauteur de 4,6 millions d'euros sur dix ans. Pour constituer l'équipe de chercheurs invités à participer à l'expédition, il a ▶



MÉCÉNAT

Frederik Paulsen, l'explorateur suédois millionnaire

L'entrepreneur, éditeur et explorateur Frederik Paulsen est à l'origine de ce projet. Ce Suédois de 66 ans installé en Suisse, à la tête de Ferring Pharmaceuticals, poids lourd des biotechnologies, est aussi un infatigable arpenteur des régions polaires. En 2013, il est ainsi devenu le premier homme à avoir atteint, en treize ans, les huit pôles (géographiques, magnétiques, géomagnétique, en Arctique comme en Antarctique) et le point le plus éloigné de toute terre émergée. Proche des autorités russes, Frederik Paulsen a soutenu la recherche polaire au moment de l'effondrement de l'URSS, ce qui lui a valu d'être nommé consul honoraire de Russie en Suisse. Entre autres exploits, il a participé à l'expédition qui, en 2007, a planté le drapeau russe à -4302 mètres sous le pôle Nord. Membre de la prestigieuse Société de géographie, très concentrée sur la région polaire, il a également réalisé des expéditions avec Michel Rocard, l'ancien Premier ministre décédé en juillet dernier, alors ambassadeur français des Pôles.



► lancé un appel à projets en 2015 qui a suscité une centaine de propositions venues du monde entier. La sélection a ensuite été assurée par un jury de scientifiques auquel a participé Jean Jouzel, par ailleurs vice-président du Giec (Groupe d'experts international pour l'étude de l'évolution du climat).

Des vents à 360 km/h

Une fois en mer, il faut d'abord franchir les fameux « quarantièmes rugissants » et les « cinquantièmes hurlants » pour gagner l'océan Austral, situé au-delà des « soixantièmes mugissants ». C'est là que le front polaire sépare les eaux de surface très froides, au sud, des eaux plus chaudes, au nord ; là aussi que se déchainent les vents d'ouest, les plus forts connus sur Terre — quelque 360 km/h —, tandis que des cyclones intenses se pourchassent autour du continent blanc ; là encore que le courant circumpolaire, plus grand courant océanique de la planète, transporte 150 millions de mètres cubes d'eau par seconde... soit 150 fois

plus que le débit de tous les fleuves de la Terre réunis ! C'est dans cet enfer froid et liquide que se joue en partie l'avenir de la planète « notamment parce que cet océan relie les trois autres (Indien, Atlantique et Pacifique) jouant ainsi un grand rôle dans la circulation globale », explique Jean Jouzel.

En outre, l'océan Austral est le plus grand « puits océanique à carbone » de la planète. « Il absorbe à lui seul quasiment 50 % du CO_2 stocké par les océans », souligne Julien Le Sommer, chercheur au Laboratoire des écoulements géophysiques et industriels de Grenoble (Isère). Cette particularité est liée à ces vents extrêmes qui, en brassant les flots, connectent les profondeurs océaniques avec l'atmosphère. « Les mouvements de remontée et de replongée des eaux soutirent le gaz carbonique de l'atmosphère et stockent la chaleur produite par l'homme, poursuit Julien Le Sommer. Ce faisant, ces eaux se chargent également d'éléments qui vont ensuite occuper les couches profondes et abyssales des autres océans du monde et fertiliser les trois quarts des fonds du



Les scientifiques étudieront la faune, directement affectée par le réchauffement climatique (ici des manchots à jugulaire).

globe. » Cette capacité de stockage du dioxyde de carbone est-elle infinie ? Hélas non ! Depuis vingt ans, les scientifiques ont ainsi enregistré une diminution des échanges de CO_2 à l'interface air-mer. En cause : le changement climatique dû à l'homme, qui bouleverse la répartition des vents dans la région et — surtout — qui les renforcent. Résultat : ceux-ci creusent encore davantage les vagues et intensifient les apports d'eaux profondes à la surface de l'océan... qui restituent alors le CO_2 à l'atmosphère, accélérant à leur tour le réchauffement. Les glaces de mer jouent, elles aussi, leur partition dans cette région extrême, variant d'une surface moyenne minimale de 2,6 millions de kilomètres carrés en mars à quelque 18,8 millions de kilomètres carrés en septembre. Même si elles semblent moins affectées qu'au pôle Nord par le réchauffement planétaire, les chercheurs ont observé au cours des deux dernières décen-



Les minuscules animaux qui composent le zooplancton ont su s'adapter aux eaux les plus hostiles de la planète.

BIOLOGIE MARINE

Le plancton, acteur clé de la régulation climatique

De nombreuses expériences s'intéresseront au plancton, qui joue un rôle clé en tant que régulateur climatique. « La photosynthèse par le phytoplancton à la surface de l'océan contribue en effet pour la moitié de la production primaire sur Terre, explique Nicolas Cassar, de l'université Duke à Durham (États-Unis). Ce processus capture le dioxyde de carbone de l'atmosphère et le convertit en carbone organique, qui sombre ensuite dans les profondeurs océaniques pour des milliers, voire des millions d'années. Ce processus contrôle en grande

partie la distribution du carbone entre l'atmosphère et l'océan profond et influence le climat sur des échelles de temps géologiques. » Rien de moins. Reste à comprendre quelles sont les stratégies déployées par le plancton antarctique pour survivre dans des eaux naturellement très pauvres en fer (quelques grammes dans un million de tonnes d'eau). Sans oublier ce mystère : comment les micro-organismes se sont-ils adaptés pour résister aux hivers les plus redoutables de la planète, certains ayant même colonisé l'intérieur du continent ?



EDITH/REDUX/HOUSE MINDENPICTURES/BIOGRAPHY

nies la débâcle de plates-formes de glace, en particulier dans le nord de la péninsule Antarctique. Des plaques grandes comme dix fois Paris se sont détachées en 1995 et 2002 dans la mer de Weddell. « Si les vastes glaciers flottants d'eau douce que sont les plates-formes de Weddell et de Ross se désagrègent totalement, cela aura un impact important sur l'élévation du niveau de la mer, car cela libérera l'écoulement de la glace continentale », souligne Jean Jouzel. De fait, les scientifiques ont déjà remarqué que les glaciers se jettent aujourd'hui dans l'océan à un rythme près de huit fois plus rapide qu'auparavant. « Cet apport d'eau douce aura forcément un impact sur la très riche

POUR EN SAVOIR PLUS

Le site de l'Antarctic Circumnavigation Expedition
► sciav.fr/838circum

faune et flore de cette région, l'une des plus productives du monde en termes de ressources pour la pêche », poursuit le climatologue.

Voilà pourquoi atmosphère, océan, glaces, flore et faune seront au programme de l'expédition. L'objectif étant d'appréhender l'océan Austral dans sa globalité en privilégiant des domaines scientifiques complémentaires. Les biologistes marins dépendent en effet des modèles mathématiques développés par les océanographes, tandis que les climatologues ont besoin de données précises sur le plancton, producteur de la moitié de l'oxygène. L'étude des sédiments des lacs et tourbières des îles subantarctiques devrait quant à elle permettre de reconstituer les variations d'intensité des vents au cours des 12 000 dernières années et leur impact sur la composition atmosphérique. Des carottes de glace d'environ 20 mètres de profondeur seront aussi forées, constituant les archives climatiques de la région. Car connaître les variations du passé permettra de mieux prévoir l'avenir. Des instruments radars installés sur le bateau collecteront des données en continu, afin de comprendre les interactions entre les vents, les vagues, les courants et les glaces. Cela afin d'alimenter une base de données unique, destinée à modéliser la très complexe physique des vagues dans l'océan austral. La vie animale sous toutes ses formes sera également scrutée au cours de ces trois mois, depuis les microbes jusqu'aux baleines, en passant par le plancton (lire l'encadré ci-contre). À plus grande échelle, la question de la colonisation des îles suban-

tarctiques se pose également. Par le passé, ces terres ont régulièrement été recouvertes par les glaces, éliminant à chacun de ces épisodes les espèces qui s'y étaient adaptées. « Il est probable que les animaux qui y vivent aujourd'hui les ont recolonisées récemment, après le dernier maximum glaciaire », note Nerida Wilson, du Western Australian Museum de Perth (Australie). La chercheuse va essayer d'établir les liens génétiques entre ces animaux et leurs congénères continentaux et les interactions entre les différentes populations. Les îles visitées par la mission ACE sont aussi des refuges pour les colonies d'albatros et de manchots, espèces aujourd'hui menacées.

Recenser les baleines en écoutant leur chant

Les chercheurs français du Centre d'études biologiques de Chizé (Deux-Sèvres) profiteront des escales pour faire des comptages et marquer des individus afin de mieux connaître leur habitat, leur période de reproduction, etc. Cela permettra à terme de prendre des mesures pour les protéger. La situation des cétacés est encore plus critique, sachant qu'au cours du ^{xx}e siècle, plus de 2 millions de baleines antarctiques ont été massacrées ! Combien en reste-t-il aujourd'hui ? C'est ce que va essayer de déterminer l'Australien Brian Miller, de l'Australian Marine Mammal Centre (Hobart), en écoutant leur chant, grâce à des capteurs acoustiques. Les chercheurs savent en effet distinguer les vocalises de chaque espèce, ce qui permettra de localiser, par exemple, une baleine bleue même à très grande distance. Enfin, une expédition de cette ampleur dans des régions peu explorées devrait sans doute revenir avec une moisson de nouvelles espèces et de nouveaux processus physico-chimiques. ■

Twitter @srouat1



« L'océan Austral stocke à lui seul presque la moitié du carbone retenu dans tous les océans de la Terre »

Jean Jouzel, climatologue, vice-président du Giec

SIPA



J. WEST/REPORT-DIGITAL/REA

Seulement 1,5 million de mobiles à recycler sont récupérés chaque année par les opérateurs de téléphonie.

Une mine d'or dans nos vieux téléphones portables

Les Français stockent 100 millions de téléphones inutilisés. Le recyclage de ces appareils est encore balbutiant. Pourtant des techniques innovantes permettent de récupérer des métaux précieux comme l'argent, l'or, le platine ou le tantale.

LE FOND DE NOS TIROIRS EST UNE MINE D'OR, d'argent, de cuivre, de tantale... Des minéraux rares et chers — 36 000 € le kilo d'or — extraits à grands frais des entrailles de la Terre. Ce gisement faramineux, ce sont les téléphones portables obsolètes ou hors d'usage que l'on garde « au cas où ». Un récent rapport d'une mission d'information du Sénat vient de quantifier cette thésaurisation hexagonale : 100 millions d'appareils. Et le phénomène va en s'amplifiant puisqu'il s'en vend 25 millions par an en France. Les touches tactiles sont riches en indium, les batteries en lithium et en cobalt, les cartes électroniques en argent, cuivre, étain, or, platine, palladium, tantale et terres rares qui sont utilisées dans les condensateurs.

Une partie de ces matériaux ont été classés « matières premières critiques » par l'Union européenne car, produits à l'extérieur du continent, notamment



en Chine, ils peuvent un jour faire défaut à l'industrie européenne. « Une tonne de cartes électroniques peut contenir jusqu'à 1 kg d'or, 5 kg d'argent, 9 kg de tantale et 250 kg de cuivre. Sa valeur est comprise entre 6000 et 15 000 voire 50 000 € pour les plus complexes », peut-on lire dans le rapport sénatorial. Un autre chiffre circule dans les milieux industriels : les déchets électroniques (téléphones, ordinateurs, télévisions) recèleraient... 7 % de tout l'or en circulation dans le monde. Soit beaucoup plus que ce qu'offre la géologie : la production mondiale se situe autour de 2500 tonnes par an. Le gaspillage est particulièrement scandaleux pour le tantale dont l'exploitation à partir du coltan est dramatique (lire encadré p. 76).

Beaucoup d'appareils pourraient être réutilisés

Pourtant, le recyclage de ces appareils, qui entrent dans la catégorie des « petits appareils en

mélange » (PAM), est encore balbutiant. Si Éco-systèmes, l'organisme en charge des « déchets d'équipements électriques et électroniques » (DEEE), revendique un taux de collecte de 38 % de PAM, il est bien incapable de donner la part des téléphones portables. Les trois opérateurs nationaux de téléphonie mobile restent donc les principaux collecteurs avec 1,57 million d'appareils volontairement rapportés par leurs clients selon leurs décomptes (2015). « On ne collecte donc que 15 % environ des téléphones portables vendus annuellement », dénonce Marie-Christine Blandin, sénatrice du Nord, auteure du rapport. Or, un bon nombre d'appareils pourraient être réutilisés, même si les données manquent. Une indication est cependant donnée par les résultats d'une entreprise issue d'une communauté Emmaüs, les Ateliers du Bocage (Deux-Sèvres) : celle-ci en a collecté près de 3 millions depuis

COMPOSITION

Métaux précieux à tous les étages

De l'écran à la batterie, en passant par l'afficheur ou la carte électronique, les smartphones ne peuvent se passer de matériaux rares et chers.

DALLE TACTILE

Elle contient de l'indium (transparent, conducteur).

AFFICHEUR LCD OU OLED

L'écran contient de l'indium, des connexions dorées, des cristaux liquides et des luminophores à base de terres rares (europium, yttrium, gallium...).

CARTE ÉLECTRONIQUE

Elle comprend l'essentiel des métaux précieux composant un smartphone :

- argent,
- cuivre,
- étain,
- or,
- platine,
- palladium,
- tantale,
- terres rares,
- tungstène.

BATTERIE

Elle est composée notamment de lithium et de cobalt.



SHUTTERSTOCK - BETTY LAFON

2006, dont 1,25 million fonctionnaient encore.

Les mobiles hors d'usage sont quant à eux orientés vers des filières de recyclage où les grandes sociétés de traitement des déchets, comme Véolia et Suez-environnement, se contentent de les broyer pour séparer au mieux les plastiques et fibres de verre des cartes électroniques et des batteries où se concentrent les métaux précieux. Tous ces éléments sont ensuite expédiés vers les trois seules usines européennes (en Belgique, Allemagne et Suède) de pyrométallurgie qui les traitent, des flux mal contrôlés s'échappant cependant en Roumanie.

Des bains d'acide pour séparer les métaux précieux

Dans des fours à 1100 °C, les plastiques et résines sont réduits en cendres, ce qui permet de séparer les métaux précieux des cartes électroniques et de produire un cuivre impur raffiné par électrolyse pour une réutilisation dans l'industrie. Mais si or, argent, palladium et cuivre sont bien récupérés, l'étain, le nickel et surtout le tantale sont perdus, les hautes températures ne permettant pas de les récupérer. Seule alternative, deux fois moins onéreuse mais plus polluante : l'hydrométallurgie. Elle est l'apanage de la Chine, de l'Inde et de l'Afrique où les métaux précieux sont récupérés grâce à des bains d'acide. Mais le taux de recyclage n'excède pas 60 % et les ouvriers subissent des conditions de travail très nocives. Peu à peu, d'autres pistes se dessinent avec l'ambition de rendre plus rentable ce gisement déjà lucratif. Ainsi, Terra Nova Développement, une start-up française de recherche métallurgique, se consacre depuis 2006 à la valorisation des métaux précieux contenus dans les DEEE. « Nous croyons beaucoup à des procédés innovants ►

EXTRACTION

Des métaux précieux à l'origine de nombreux trafics



T. STODDART/GETTY IMAGES

En République démocratique du Congo, des bandes armées exploitent des enfants pour extraire le tantale.

Tungstène, étain, coltan (dont on extrait le tantale)... Dans de nombreuses régions du monde les minerais précieux servent à financer au moins 20 % des conflits armés dont au minimum 27 guerres sur le continent africain selon un rapport de l'Union européenne. Dans l'est de la République démocratique du Congo (RDC), qui concentre 80 % des gisements de tantale, cette extraction finance des bandes armées qui exploitent

de jeunes enfants. L'Union européenne cherche à imposer un règlement qui obligerait les industriels importateurs de ces métaux issus de zones de conflit à surveiller leur chaîne d'approvisionnement. Proposé depuis 2014, le texte n'est toujours pas adopté. Le rapport de la mission d'information du Sénat souligne d'ailleurs « l'opacité » des fabricants et opérateurs dont certains ont tout simplement refusé de venir aux auditions.

► comme l'eau à l'état supercritique », assène son fondateur, Christian Thomas. La start-up s'est rapprochée du laboratoire Icare du CNRS d'Orléans qui travaille dans ce domaine. « À une température de 373 °C et sous une pression de 221 bars, l'eau atteint un état ni liquide ni gazeux, intéressant pour décomposer la biomasse et en faire du biogaz, détaille Stéphane Bostyn, l'un des chercheurs du labo-

ratoire. Nous n'avons pas imaginé que cela pouvait aussi avoir une application dans la destruction des résines et plastiques entourant les matériaux récupérables des téléphones. » Et les premiers résul-

L'« eau supercritique » permettrait de récupérer jusqu'à 95 % des matières nobles

tats sont très prometteurs ! « 30 % des matières organiques d'une carte plongée dans un bain d'eau supercritique sont réduites à l'état de poudre ! Il n'est donc plus besoin de la broyer pour atteindre les matériaux intéressants », poursuit l'expert. Ce système baptisé Remetox permet en outre de récupérer l'étain, le tungstène et le tantale, soit un taux de recyclage de 95 % des métaux nobles. Les chercheurs ont même imaginé un système de récupération des gaz émis par la destruction des plastiques ainsi qu'une réutilisation en boucle de l'énergie nécessaire au process. Une unité industrielle est envisagée dans la région Hauts-de-France. « Nous ambitionnons dans un premier temps — d'ici à 2020 — de produire 30 tonnes de tantale recyclé par an sur une production mondiale d'environ 2000 tonnes », précise Christian Thomas.

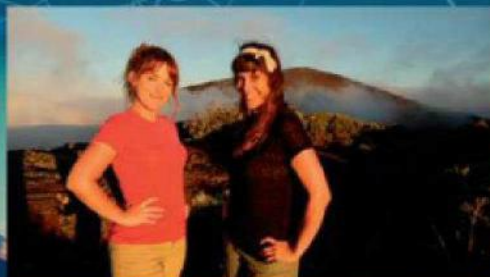
La piste d'un solvant spécifique aux métaux

Mais l'eau supercritique n'est pas la seule voie explorée. L'université d'Édimbourg (Royaume-Uni) vient quant à elle d'annoncer l'invention d'une « huile » qui serait efficace après un passage dans un bain d'acide doux. Les chimistes écossais livrent cependant trop peu d'informations sur ces composés pour que l'on puisse pour l'heure juger de son efficacité. Terra Nova en coopération avec le BRGM explore une voie similaire avec le projet Silixe. Il s'agit d'un solvant spécifique aux métaux, ou liquide ionique, capable de capter sélectivement le cuivre par polarisation. Dans cette course de vitesse, les recherches se poursuivent pour extraire par solvant les autres matériaux et le tantale. Car les flux de matériels informatiques hors d'usage vont s'intensifier... et les métaux précieux se raréfier. ■

Loïc Chauveau

UshuaïaTV

SUR LES ROUTES DE LA SCIENCE



DEUX JOURNALISTES SCIENTIFIQUES EN MISSION DANS LE MONDE
AUX CÔTÈS DE CEUX QUI FONT LA SCIENCE

TOUS LES DIMANCHES
20 H40
JUSQU'AU 11 DECEMBRE

©MDAM

Ma Dragonne et Moi

Plus d'infos sur www.ushuaiatv.fr



#SLRDLS

universcience

CANALSAT

canal 87

bouygues

canal 215

numericable

canal 131

orange

canal 116

free

canal 204

SFR

canal 200

molotov



PIERRE SOURZAT

La compréhension du comportement de la truffe (ici « *T. melanosporum* ») devrait permettre d'améliorer sa culture.

La vie sexuelle des truffes révélée

Des analyses génétiques sur ces champignons montrent des relations inattendues entre mâles et femelles.

D'OÙ VIENNENT LES TRUFFES (*Tuber* sp.), ces champignons aux vertus culinaires incomparables ? Les chercheurs savaient que le fruit rond d'un noir profond qui parfume de prestigieuses assiettes est le résultat des « amours » souterraines d'individus constitués d'un réseau de filaments, le mycélium. Mais l'équipe de Marc-André Selosse, mycologue au Muséum national d'histoire naturelle de Paris, avec l'aide de chercheurs de l'université de Montpellier, vient d'écarter un peu plus le rideau de l'alcôve dans *Molecular Ecology* en détaillant ce phénomène. Des travaux qui laissent espérer une amélioration d'une production nationale anémique : alors que plus de 1000 ha de truffières sont plantés tous les ans (pour une surface totale de 10 000 ha), 40 à 100 tonnes de truffes seulement sortent de terre. Contre 1000 tonnes à la fin du XIX^e siècle.

Hermaphrodite, ce champignon ne s'autoféconde pas et a donc besoin d'une relation « mâle-femelle » pour se reproduire, comme une partie des membres de ce règne à part, ni végétal ni animal. Mais, ici, la surprise vient de la grande différence entre ces individus. « Les analyses génétiques de 950 échantillons montrent que la truffe que nous consommons résulte de la fécondation d'une femelle de grande taille et d'un mâle de petite taille, explique Marc-André Selosse. La première couvre quelques mètres carrés de terrain, vivant plusieurs années dans le sol, alors que le second est petit et ne vit souvent qu'une année. » Associée aux racines des arbres voisins (chênes et noisetiers principalement), la « mère » a ainsi une taille suffisante pour contribuer à la fabrication des spores (l'équivalent des graines pour les champignons) et fournir la chair de la truffe qui les protège et les nour-

rit. De constitution plus faible, le mâle, lui, ne contribue qu'à la formation des spores. Ce schéma permet d'expliquer la répartition des femelles et des mâles dans les truffières. « C'est une question de compétition, poursuit Marc-André Selosse. Quand une spore éclôt à proximité d'un individu déjà installé, le nouveau mycélium adopte le sexe opposé pour avoir une chance de disperser son patrimoine génétique. »

Un hermaphrodisme très rare chez les champignons

Cas très rare chez les champignons, *Tuber* sp. s'adapte ainsi aux individus pour offrir le sexe opposé. De l'avantage d'être hermaphrodite... Autre enseignement de ces analyses génétiques : les truffières plantées par l'homme comptent plus de mâles que les sites où le champignon vit à l'état naturel. « Cela pourrait être dû aux pratiques des trufficulteurs qui ont pris l'habitude d'épandre au pied des arbres des fragments de truffes non commercialisables », suppose Marc-André Selosse. Ce faisant, ils disséminent des spores supplémentaires qui produiront autant de mâles supplémentaires à proximité des grosses femelles déjà installées. De quoi songer à étudier ces pratiques sur lesquelles personne ne s'est encore penché. ■

Loïc Chauveau

6

Le nombre d'espèces

européennes utilisées en gastronomie :
truffe noire (*T. melanosporum*);
blanche (*T. magnatum*);
brumale (*T. brumale*);
d'été (*T. aestivum*);
de Bourgogne (*T. uncinatum*);
de Lorraine (*T. mesanthericum*).

Petit Papa Noël...



*Je t'écris pour te demander le premier film sur le génie du football **MESSI**, le volume 2 de l'émission culte **TOP GEAR**, la série anglaise choc **HAPPY VALLEY**, le film d'anticipation **I ORIGINS**, l'intégrale de la série phénomène **GRAND HOTEL** et d'autres encore... s'il te reste de la place dans la hotte !*

... n'oublie pas mes petits **DVD VIDEO** et **Blu-ray Disc**

MESSI



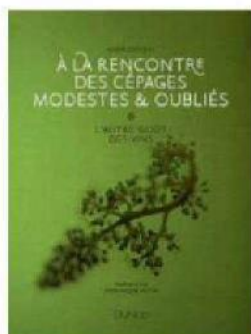
En vente partout et sur
www.kobafilms.fr

koba
FILMS

L'ESPIONNE
DE TANGER



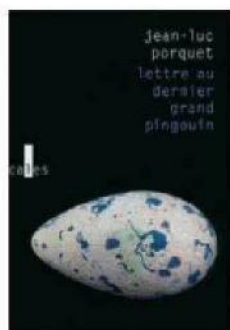
À la rencontre des cépages modestes et oubliés



André Deyrieux, Dunod, 228 p., 29 €

Savez-vous qu'en plein océan bourguignon de pinot noir, Lorraine Senard produit à Aloxe-Corton (Côte-d'Or) un jeune vin très floral issu de beurot, un cépage planté par son grand-père il y a 102 ans ? Et quelle perte ce serait si Catherine et Pascal Jamet à Arras-sur-Rhône (Ardèche) devaient abandonner le 0,2 hectare de dureza qu'ils exploitent encore ! Sans eux, cette variété qui donne un vin sombre aurait en effet disparu. Les cépages modestes et oubliés ont ainsi des histoires singulières et un pied dans la tombe qu'il conviendrait d'ôter. C'est du moins ce que pensent les journalistes, œnologues et viticulteurs qui ont participé à cet ouvrage sensible et érudit. C'est tout un patrimoine ampélographique qu'il convient en effet de sauvegarder. De ces variétés sélectionnées depuis des siècles pour leurs qualités gustatives (et leur rendement), pourraient bien émerger les vins de demain. Car merlot, cabernet et chardonnay, qui dominent aujourd'hui les appellations, sont menacés par un réchauffement climatique auquel ils ne sont pas du tout adaptés. ■ **Loïc Chauveau**

Lettre au dernier grand pingouin



Jean-Luc Porquet, éditions Verticales, 220 p., 19,50 €

Dans une veine tantôt attendrie tantôt piquante, sillonnée d'humour et d'interrogations intimes, l'auteur de ce livre à l'intonation très personnelle s'adresse au grand pingouin. Il écrit des lettres à l'oiseau qui s'est éteint en 1844, lorsque des pêcheurs islandais ont tué le dernier couple sur l'île d'Eldey. Il en esquisse un portrait touchant, animé par le désir de rendre corps à l'animal disparu par-delà son absence. Le dessin déborde cependant allègrement du cadre, s'enrichissant d'une réflexion sur l'extinction des espèces, les dérives de l'agro-industrie et les méfaits du « technocapitalisme ». Les chiffres et références d'études sur la question abondent, agrémentés de citations littéraires et historiques comme autant de lumières crues jetées sur ce que l'auteur estime être l'inconscience des humains exploités de la Terre, aveuglés par les mirages du progrès technique... Le sociologue Jacques Ellul y aurait reconnu les siens ! Le tout oscillant entre colère et espoir. ■ **Andreina De Bei**

FRANCKUSHIMA

Géraud Bournet, Lutopiquant éditions, 256 p., 20 €



Voici un « objet livresque non identifié » agrégeant textes originaux, articles de

presse et de sites Web ou extraits de rapports après la catastrophe de Fukushima (Japon) en 2011. Ingénieur et enquêteur, l'auteur livre une vision multiple de la situation, d'où émerge la voix d'une population livrée à elle-même face aux conséquences. ■ **O. L**

QUEL PAIN VOULONS-NOUS ?

Marie Astier, Seuil, 124 p., 12 €



Comment se fabrique le pain aujourd'hui ? Marie Astier a enquêté sur l'ensemble de la filière. Le métier

s'est automatisé et concentré avec moins de boulangeries artisanales. Cette transformation a des conséquences sur la diversité des variétés de blé, de farines, et sur qualité nutritionnelle du pain. ■ **I. do O'G.**

DVD

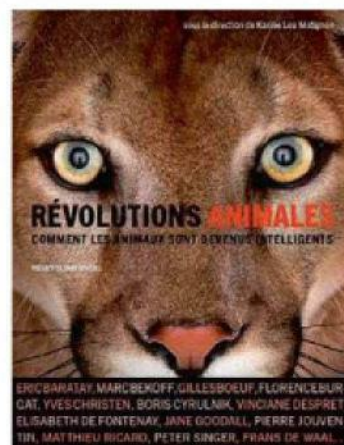
FARREBIQUE (vol. 1) BIQUEFARRE (vol. 2)

Georges Rouquier, Les Documents cinématographiques, 90 min, 20 € chaque



À 38 ans d'intervalle, Georges Rouquier a filmé une famille d'agriculteurs de

l'Aveyron. En 1945, ils sont autosuffisants et deux bœufs servent encore au labour. En 1983, l'utilisation de machines et d'intrants a rendu le travail moins aléatoire mais les dettes et les quotas laitiers compliquent leurs pratiques. ■ **I. do O'G.**



Sous la direction de Karine Lou Matignon, préface Jane Goodall, Les Liens qui libèrent / Arte éditions, 574 p., 38 €

Révolutions animales

Comment les animaux sont devenus intelligents

Voici une somme des connaissances sur la vie des animaux qui fera référence, portée par les plus grands spécialistes internationaux de la question. On y trouve réunie une cohorte impressionnante d'éthologues, biologistes, neuroscientifiques, historiens, philosophes, anthropologues, juristes, qui se rejoignent dans une intention forte : changer notre vision de l'animal. Pour cela, il faut déconstruire notre anthropomorphisme, prendre en considération l'individualité et l'intelligence des espèces, reconnaître leurs droits et nos devoirs. Car le constat est sans appel : l'évolution sociétale, les découvertes scientifiques et l'accumulation des preuves de la sensibilité des animaux à la douleur et de leurs aptitudes contribuent à la nécessité de repenser notre relation avec eux. Cet ouvrage, illustré de portraits d'animaux, permet de se mettre à jour sur une pensée dynamique et solide. La même dont est issu l'appel pour un secrétariat d'État à la condition animale lancé en France le 18 octobre dernier. « Apprécier les diversités de tous et les richesses de chacun », dit ainsi l'historien Éric Baratay. Différence n'étant pas hiérarchie. ■ **A. De B.**

QUI SOMMES-NOUS,
D'OÙ VENONS-NOUS, OÙ ALLONS-NOUS ?



L'HOMME ÉVOLUE. SON MUSÉE AUSSI.

MUSEEDELHOMME.FR



Le Brevant - Photographie Jean-Marie Viret





C.SOWEN/PLEBPHOTO FLAMENT / ADRIA.RR

La moule bleue du Pacifique, la coque commune et la mye commune (page de droite), trois des quatre espèces de mollusques chez qui une sorte de leucémie transmissible a été observée.

Quand le cancer est contagieux

Chez les mollusques, les chercheurs ont découvert avec stupéfaction que cette affection peut passer d'une espèce à l'autre. Qu'en est-il chez l'homme ?

Par Marc Gozlan

C'EST UNE OBSERVATION DÉROUTANTE ET FASCINANTE que des chercheurs américains, espagnols et canadiens ont rapportée dans une étude publiée en juin 2016 dans *Nature* (1). Des cellules cancéreuses peuvent se transmettre entre mollusques bivalves de même espèce, voire d'une espèce à une autre. Il s'agit bel et bien de cellules faisant office d'agents infectieux transmissibles et non, comme on aurait pu l'imaginer, d'un virus qui provoquerait l'apparition d'un cancer chez des coquillages. Elles se comportent comme

de véritables parasites capables de survivre en pleine mer avant d'envahir un nouveau mollusque chez lequel elles provoquent un cancer habituellement mortel ! Jusqu'à présent, seuls quatre cancers transmissibles étaient connus dans le monde animal : deux variétés d'une même tumeur affectant le diable de Tasmanie (Australie) et transmise par contact lors de morsures ; un cancer du chien transmis par contact sexuel ; et enfin une tumeur de la mye commune (*Mya arenaria*), bivalve vivant dans les sédiments. Or, voilà que l'équipe dirigée par le

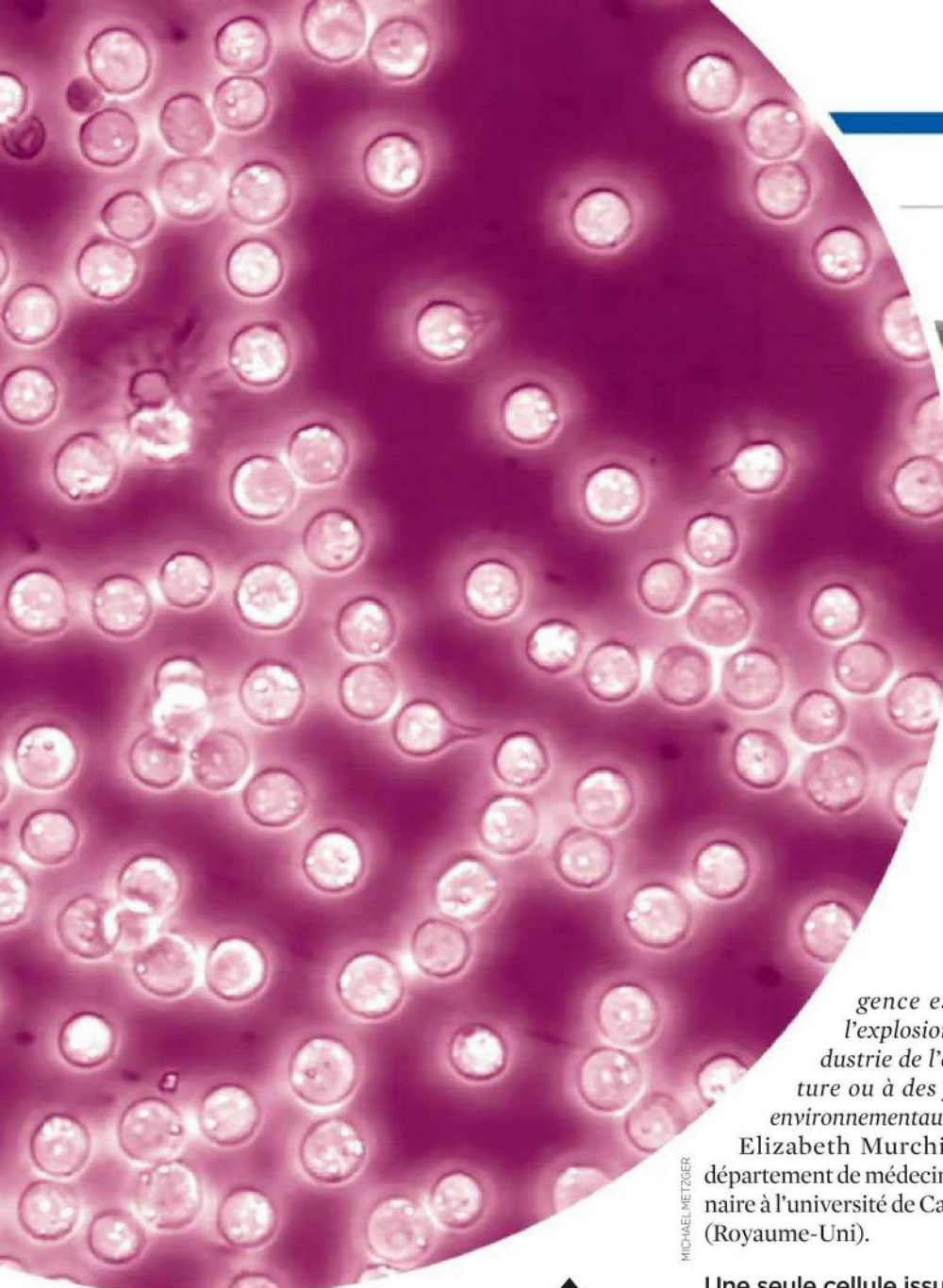
2 CAS CHEZ LES VERTÉBRÉS



Le chien et le diable de Tasmanie sont les seuls vertébrés qui peuvent être atteints d'un cancer transmissible.

Pr Michael Metzger, de l'université Columbia de New York, décrit quatre autres cancers contagieux chez les bivalves : l'un d'eux affecte la moule *Mytilus trossulus* récoltée au large de la Colombie-Britannique (Canada), un deuxième la palourde jaune (*Polititapes aureus*) de Galice (Espagne) et deux autres des coques communes (*Cerastoderma edule*) de la péninsule Ibérique. Tous ces mollusques présentent une « néoplasie disséminée » qui se manifeste par une prolifération incontrôlée de cellules cancéreuses dans le système circulatoire. Jusqu'à pré-

PHOTOS: BIOSPHOTO



ALAMY/PHOTO12.COM

sent, on ignorait la cause de cette affection décrite pour la première fois en 1969 chez des huîtres et des moules et qui a ensuite été observée chez quinze espèces de mollusques. La lignée cellulaire (clone) à l'origine de cette forme de leucémie des bivalves est sans doute apparue il y a au moins une quarantaine d'années, « sans que l'on sache si cette émer-

▲
Observation de l'hémolymphe
d'un bivalve (mye commune) envahie par des cellules atteintes de néoplasie (cercles), une sorte de leucémie des mollusques.

MICHAEL NETZGER

gence est liée à l'explosion de l'industrie de l'aquaculture ou à des facteurs environnementaux », note

Elizabeth Murchison, du département de médecine vétérinaire à l'université de Cambridge (Royaume-Uni).

Une seule cellule issue d'un mollusque originel

Pour mieux comprendre, les biologistes ont procédé à des analyses génétiques des tissus sains et malades de moules, coques et palourdes jaunes. Et là surprise : ils ont découvert que les cellules cancéreuses n'étaient pas issues de l'animal malade mais provenaient d'une source extérieure. Ils ont noté, en particulier, que pour chaque type de mollusque, les cellules cancéreuses se ressemblaient toutes sur le plan génétique. Autrement dit, dans une

même espèce, c'est à partir d'une seule et même cellule cancéreuse, issue d'un unique mollusque originel (coque, moule ou palourde), que le cancer s'est transmis et développé.

Mieux encore, avec la palourde jaune. Chez ce bivalve, les analyses révèlent qu'ADN tumoral et ADN normal ne coïncident pas. Le premier est à 99 % identique à l'ADN d'une autre espèce, celle baptisée palourde poulette (*Venerupis corrugata*), qui partage les mêmes habitats. Le cancer de ce bivalve est donc originaire d'une autre espèce. Ce qui signifie qu'il peut sauter la « barrière des espèces » chez les mollusques. Il est probable que la palourde poulette, chez laquelle cette tumeur a émergé, a finalement développé une résistance à ce cancer. Et que les cellules cancéreuses de palourde poulette ont ensuite acquis la capacité de survivre en pleine mer et de se transmettre à une espèce voisine.

Il s'agit là d'un phénomène qui défie la compréhension du processus cancéreux tel qu'on se le représente habituellement. En effet, le cancer est habituellement considéré comme la conséquence ►

BIVALVES Mollusques avec coquille à deux valves articulées. Ce groupe comprend notamment les moules, les palourdes, les huîtres, les pétoncles.

NÉOPLASIE DISSÉMINÉE (OU HÉMOCYTAIRE) Affection des bivalves caractérisée, comme dans une leucémie, par une prolifération dans le liquide circulaire (hémolymphe) de cellules cancéreuses envahissant peu à peu tous les organes.

MOLÉCULES DU CMH (COMPLEXE MAJEUR D'HISTOCOMPATIBILITÉ) Protéines, présentes à la surface de toutes les cellules, qui constituent l'identité biologique de l'individu et interviennent dans la réponse immunitaire.

CLINIQUE

La transmission chez l'être humain reste exceptionnelle

De très rares cas ont été établis, toujours dans des circonstances exceptionnelles comme celles de la grossesse, de greffe d'organe ou de transplantation expérimentale de tumeur.

De rares cas de cancers transmissibles entre personnes ont été publiés dans la littérature médicale, mais sans toutefois jamais aller au-delà de deux individus, autrement dit sans qu'un deuxième en contamine un troisième (notes 3 et 4). Il a été rapporté des cas de transmission d'un cancer (mélanome ou leucémie notamment) de la femme au fœtus, de même d'un fœtus à son jumeau (5). Au cours de la grossesse, le placenta et le fœtus se trouvent dans un « sanctuaire immunologique » qui les protège d'une réaction de rejet immunitaire mais facilite une éventuelle transmission de cellules cancéreuses de la mère au fœtus et dans le milieu intra-utérin. Une étude publiée en 2003 n'avait retrouvé dans la littérature que 14 cas documentés de transmission d'un cancer de la mère au fœtus au cours

des 136 dernières années (6). D'autres cas ont été décrits, lors de transplantation d'organe. 0,04 % des patients greffés développent une tumeur à partir de l'organe du donneur (un mélanome le plus souvent) (5). De même, l'apparition d'une hémopathie maligne (cancer du sang) est observée chez 0,06 % des personnes recevant une greffe de cellules souches sanguines (6). Chez un patient receveur, dont le système immunitaire est affaibli par la prise d'immunosuppresseurs, un cancer (principalement un mélanome) peut parfois se développer du fait de la présence occulte de cellules tumorales dans l'organe greffé (7, 8). Il est arrivé aussi que certains cancers aient été transmis de façon accidentelle ou expérimentale. Un chirurgien allemand (Tübingen) a contracté en 1958 un cancer au niveau de la paume cinq mois après

s'être coupé la main alors qu'il procédait à l'ablation d'une tumeur abdominale. La tumeur cancéreuse, de même nature que celle du patient opéré, fut retirée avec succès. Curieusement, elle possédait à la fois des caractéristiques génétiques du patient et d'autres propres au chirurgien (9). Par ailleurs, une technicienne de laboratoire a présenté un nodule cutané renfermant des cellules de cancer du côlon 19 jours après s'être blessée à la main avec une aiguille ayant servi à manipuler une lignée cellulaire humaine de cancer colique. L'ablation de ce cancer naissant fut réalisée rapidement (10). On a même essayé d'exploiter la transmissibilité dans l'espoir d'un traitement. En 1961, des cellules de mélanome furent transmises à l'hôpital Evanston (Illinois, États-Unis) d'une fille à sa mère de 80 ans dans l'espoir que cette dernière produise des

► du dérèglement génétique d'une cellule qui acquiert la capacité de se diviser de manière incontrôlée, jusqu'à se propager dans des organes situés à distance de la tumeur d'origine et former des métastases (*lire S. et A. n° 832, juin 2016*). Surtout, quand la tumeur tue son hôte, le cancer meurt avec lui. Les cellules cancéreuses ne diffusent habituellement pas en dehors de l'organisme malade. Chaque nouveau cancer doit donc repartir de zéro pour « réinventer » une stratégie qui vienne à bout des défenses de l'hôte. Rien de tel chez ces bivalves : chez eux, des cellules cancéreuses peuvent

« métastaser » d'un individu à un autre.

En 2010, la néoplasie disséminée avait été détectée en France, dans les coques du bassin d'Arcachon. Plus récemment, en juillet 2016, une étude de l'Ifremer parue dans le *Journal of Invertebrate Pathology* a révélé que cette même pathologie est à l'origine d'une mortalité

massive, observée depuis 2014, dans les élevages de moule commune (*Mytilus edulis* et *Mytilus galloprovincialis*) de la côte Atlantique, plus précisément dans les pertuis charentais et la baie de Bourgneuf.

Il est probable que les bivalves, qui filtrent l'eau de mer, captent les cellules cancéreuses grâce à leur



ELIZABETH MURCHISON

« Les cellules cancéreuses quittent peut-être le bivalve à la faveur d'un traumatisme, d'un acte de prédation »

Elizabeth Murchison, département de médecine vétérinaire à l'université de Cambridge, Royaume-Uni

La transmission d'un cancer par la mère au fœtus est rarissime : 14 cas seulement ont été recensés en 136 ans.

NEL BROWN HALL / SPL / PHANIE

anticorps anti-mélanome qui puissent être transfusés à sa fille pour l'aider à lutter contre son cancer (11). La mère décéda d'un mélanome métastatique malgré l'ablation de la tumeur transplantée dans un muscle de la paroi abdominale. D'autres transmissions expérimentales de cellules tumorales furent réalisées dans les années 1950 et 1960 sur des volontaires (12, 13) et prisonniers (14) dans le but d'étudier l'immunité anticancéreuse. Sans que

les données obtenues débouchent sur une quelconque avancée thérapeutique. Enfin, en novembre 2015, le transfert d'un cancer animal à l'homme a été rapporté dans le *New England Journal of Medicine* (15). Des cellules cancéreuses d'un ténia nain (*Hymenolepis nana*) sont parvenues à survivre et à se développer dans les ganglions lymphatiques et poumons d'un Colombien de 41 ans atteint du sida. Ce patient présentait un profond déficit immunitaire, ce qui explique qu'il n'ait pu

se débarrasser des cellules cancéreuses parasitaires. Ce cas, unique à ce jour, montre qu'un cancer provenant d'une espèce peut dans des circonstances exceptionnelles, envahir une autre, humaine en l'occurrence. Il n'a en revanche jamais été rapporté de cas de transmission d'une tumeur maligne à un tiers après un contact social (5). Les proches d'un malade atteint de cancer, pas plus que les membres du personnel soignant, n'ont en conséquence rien à craindre.

système digestif ou respiratoire. « Les cellules cancéreuses quittent peut-être le bivalve à la faveur d'un traumatisme, d'un acte de prédation ou migrent activement hors du mollusque malade », fait remarquer le Pr Murchison.

Incapables de détecter des cellules étrangères

On ignore les raisons pour lesquelles la greffe de cellules cancéreuses d'un mollusque réussit à « prendre » sur un autre bivalve, a fortiori sur une espèce différente. Ces mollusques ne savent sans doute pas détecter la présence de cellules étrangères à leur orga-

nisme et ne peuvent donc les rejeter. « Ces invertébrés n'expriment pas à la surface de leurs cellules les molécules du complexe majeur d'histocompatibilité (CMH), qui participent à la reconnaissance par le système immunitaire du "soi" et du "non-soi" dans d'autres espèces animales, celles qui interviennent dans le rejet de greffe entre individus non apparentés », souligne Frédéric Thomas, directeur de recherche CNRS au laboratoire Maladies infectieuses et vecteurs : écologie, génétique, évolution et contrôle (Mivegec) et codirecteur à l'IRD de Montpellier du Centre de recherches écolo-

giques et évolutives sur le cancer (Creec). En attendant que des cancers transmissibles soient peut-être découverts chez d'autres animaux marins ou terrestres, le Pr Robin Weiss, de l'University College de Londres, se veut rassurant. Il écrivait récemment dans la revue *Cell* (2) que « l'être humain [au système immunitaire performant et dont les cellules expriment des molécules du CMH impliquées dans la reconnaissance des cellules étrangères] ne court pas de risque [d'attraper un cancer] en consommant des palourdes, ou même des huîtres crues ». ■

@MarcGozlan

- (1) Widespread transmission of independent cancer lineages within multiple bivalve species. *Nature*. 2016 Jun 30;534(7609):705-9.
- (2) The clammy grip of parasitic tumors. *Cell*. 2015 Apr 9;161(2):191-2.
- (3) The cancer which survived: insights from the genome of an 11000 year-old cancer. *Curr Opin Genet Dev*. 2015 Feb;30:49-55.
- (4) Cancer: Transmissible tumours under the sea. *Nature*. 2016 Jun 30;534(7609):628-9.
- (5) Contagious cancer. *The Oncologist*. 2011;16(1):1-4.
- (6) Transplacental and other routes of cancer transmission between individuals. *J Pediatr Hematol Oncol*. 2003 Jun;25(6):430-4.
- (7) Transmission of donor melanoma by organ transplantation. *Lancet Oncol*. 2010 Aug;11(8):790-6.
- (8) Evidence of donor-derived hematologic malignancies after hematopoietic stem cell transplantation. *Biol Blood Marrow Transplant J Am Soc Blood Marrow Transplant*. 2006 May;12(5):511-7.
- (9) Genetic analysis of a sarcoma accidentally transplanted from a patient to a surgeon. *N Engl J Med*. 1996 Nov 14;335(20):1494-6.
- (10) Needle-stick transmission of human colonic adenocarcinoma. *N Engl J Med*. 1986 Dec 4;315(23):1487.
- (11) Scanlon EF, Hawkins RA, Fox WW, Smith WS. Fatal homotransplanted melanoma. A case report. *Cancer*. 1965 Jun;18:782-9.
- (12) Southam CM, Moore AE. Induced immunity to cancer cell homografts in man. *Ann N Y Acad Sci*. 1958 Oct 7;7(3):635-53.
- (13) Homotransplantation of human cell lines. *Science*. 1957 Jan 25;125(3239):158-60.
- (14) The evolutionary ecology of transmissible cancers. *Infect Genet Evol J Mol Epidemiol Evol Genet Infect Dis*. 2016 Apr;39:293-303.
- (15) Transformation of *Hymenolepis nana* in a Human Host. *N Engl J Med*. 2015 Nov 5;373(19):1845-52.



Les choux, nouveaux chouchous des cuisines

Forts d'une cinquantaine d'espèces, ces légumes particulièrement chargés en nutriments connaissent un regain d'engouement, en particulier le chou kale. Peu caloriques et riches en fibres, ils se consomment cuits ou crus.

APPARU IL Y A ENVIRON QUATRE MILLE ANS, le chou a été très prisé dans l'Antiquité car il était censé « détoxifier » le foie des excès de table. « Les Grecs le servaient même en soupe aux jeunes mariés, juste après la nuit de noces », explique Delphine Pocard, auteur du *Chou, star en cuisine* (1). D'où la légende qui veut... que les bébés naissent dans les choux ! Au fil du temps, il a été délaissé, assimilé à l'aliment du pauvre. Mais la roue tourne. Le chou sous toutes ses formes fait son grand retour dans nos assiettes. Qu'ils soient verts, rouges, raves, frisés, pommés, chinois, de Bruxelles, fleurs,

brocolis... tous appartiennent au genre botanique *Brasica* — tout comme le navet ou le colza — et donc à la vaste famille des brassicacées, autrefois appelée crucifères. Au total, on en recense une cinquantaine d'espèces particulièrement riches en antioxydants. Aux États-Unis, la vedette du moment est le chou kale, connu aussi sous le nom de chou vert frisé. Une publicitaire expatriée, Kristen Beddard, a même décidé d'en faire le chouchou des Français à travers son blog (2). Delphine Pocard, elle, veut réhabiliter tous les choux : « Il en existe beaucoup d'autres, tout aussi bénéfiques pour la santé », assure-t-elle.

25,2

kilocalories
fournies par 100 g de
chou-fleur cuit, 28,7
pour le brocoli, 32,8
pour le chou rouge cru
et 41,2 pour le chou de
Bruxelles.
(Source : table Ciquai
de l'Anses.)

Les choux pourraient aider à prévenir le cancer...

Les antioxydants sont utiles pour protéger nos cellules des radicaux libres et du vieillissement, or les choux en contiennent de puissants. Parmi eux, des flavonoïdes (composés de la famille des polyphénols) et des caroténoïdes (précurseurs de la vitamine A). Mais les brassicacées possèdent surtout des glucosinolates, des molécules contenant du soufre et un dérivé d'acide aminé. Ceux-ci, lors de la mastication, se transforment en isothiocyanates sous l'action d'une enzyme présente dans l'aliment : la myrosinase. Ces composés pourraient être intéressants

BRASSICACÉES Famille de plantes à fleurs (ex-crucifères) réparties en plusieurs dizaines de genres dont *Brassica* (choux, navet...), *Eruca* (roquette), *Raphanus* (radis), *Sinapis* (moutarde).

RADICAUX LIBRES Ils nettoient l'organisme des cellules endommagées mais, en trop grand nombre, ils peuvent favoriser leur oxydation au risque d'accélérer leur vieillissement et être potentiellement cancérigènes.

ISOTHIOCYANATES Ces molécules soufrées présentent dans les choux, et contribuant à leur odeur, sont étudiées pour leur potentiel anticancéreux. Parmi eux, le sulforaphane, isolé dans les brocolis.

pour aider à prévenir le cancer. Pour l'heure, les tests réalisés *in vitro* ont démontré qu'ils peuvent bloquer le développement des substances cancérigènes et favoriser le suicide des cellules tumorales (apoptose). Les résultats d'une méta-analyse, constituée de 29 études, démontrent une association significative entre la consommation régulière de brocolis et la diminution du risque de cancer du côlon (3).

... et d'autres maladies

Le chou est bactéricide. Une étude, ayant évalué la consommation de pousses de brocoli pendant deux mois, suggère qu'elles permettent de combattre les infections à *Helicobacter pylori*, une bactérie en cause dans l'ulcère et le cancer de l'estomac (4). Les crucifères sont recommandés aussi pour lutter contre les maladies cardio-vasculaires. Une méta-analyse, regroupant 105 000 personnes âgées de 30 à

84 ans suivies pendant six à vingt-six ans, note que les consommateurs de légumes, fruits, thé et vin rouge, riches en flavonoïdes, ont moins de risques de mourir d'une maladie coronarienne (5). Une des hypothèses est que les flavonoïdes freineraient l'oxydation du cholestérol (LDL).

Ils apportent de nombreux nutriments

Les choux constituent une bonne source de potassium, un nutriment essentiel au fonctionnement des muscles et des reins. Ils procurent de la vitamine C mais aussi de la vitamine B9, indispensables pendant la grossesse pour protéger le bébé des risques de malformation du système nerveux. Leur apport en calcium peut présenter une alternative pour les personnes intolérantes aux produits laitiers : 100 g de chou kale renferment environ 135 mg de calcium et une portion de chou chinois à peu près autant qu'un verre de lait.

Peu caloriques, mais prudence...

Pour qui cherche un « allié minceur », les choux présentent l'intérêt d'être peu caloriques. Gare, néanmoins, aux régimes « soupe au chou », consistant à se nourrir presque exclusivement d'un bol de soupe à chaque repas pendant sept jours. Dans une expertise sur les 15 régimes les plus fréquents, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation juge cette diète hypocalorique risquée pour la santé et que « la fluctuation du poids pourrait être un facteur de risque cardio-vasculaire et de syndrome métabolique » (6). Selon le Dr Jean-Michel Lecerf, de l'Institut Pasteur, président du groupe d'experts, « ce régime fait perdre surtout du muscle et favorise la reprise de poids. Il est inutile et dangereux. Une soupe au chou le soir pour compenser un déjeuner trop riche, voilà qui ne pose pas de problème. Mais cette diète ne doit pas être prolongée au-delà de quarante-huit heures ».

À consommer cru ou légèrement cuit

Les choux contiennent beaucoup de fibres, efficaces pour réguler le transit intestinal et la glycémie. Mais certaines personnes ont du mal à les digérer en raison de leurs composés soufrés malodorants. Or, plus ils cuisent longtemps, plus ils en libèrent. Mieux vaut donc les déguster crus, découpés en fines lamelles, ou légèrement cuits à la vapeur ou à la poêle. C'est également le meilleur moyen de conserver leurs propriétés antioxydantes qui ne résistent ni à un trop-plein d'eau ni au stockage. ■ **Brigitte Bègue**

DAVID KHAYAT oncologue à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris*

Les choux doivent figurer au menu

« Selon les données internationales, l'alimentation est responsable d'un cancer sur cinq. Pour autant, le cancer est une maladie multifactorielle qui dépend aussi de l'âge, de la génétique, du mode de vie... Les choux font cependant partie des aliments pouvant avoir des vertus préventives. Il semblerait qu'ils agissent sur les cancers du poumon, de l'appareil digestif, du rectum, de la vessie et, chez les femmes, sur le cancer des ovaires, du sein et des reins. Mais il faudrait davantage d'études sur l'humain. Néanmoins, on peut réduire un peu les risques en variant son alimentation en fonction des saisons, en consommant moins de viande et plus de légumes, en mangeant moins gras, moins sucré, moins salé et en diversifiant les modes de cuisson. Mieux vaut limiter le wok et le barbecue, par exemple, potentiellement cancérigènes. »

* Coauteur de *La Cuisine anticancer*, Odile Jacob, 2016.

(1) Éditions Terre Vivante, 2016.

(2) www.thekaleproject.com

(3) *Cruciferous vegetables and risk of colorectal neoplasms : a systematic review of meta-analysis*, Tse G. et Eslick G., *Nutrition et Cancer*, 2014.

(4) *Dietary sulforaphane-rich broccoli sprouts reduce colonization and attenuate gastritis in Helicobacter pylori infected mice and humans*, Yanaka A. et al., *Cancer Prevention Research*, 2009.

(5) *The relation between flavonol intake and coronary heart disease mortality*, Huxley R. et Haw N., *European Journal of Clinical Nutrition*, 2003.

(6) *Avis de l'Anses du 4 mai 2011* relatif à l'évaluation des risques liés aux pratiques alimentaires d'amaigrissement.

Baclofène : le médicament qui guérit un alcoolique sur deux

Avec un taux de réussite supérieur à 50 %, une étude récente prouve l'efficacité de ce générique contre la dépendance à l'alcool. Ce résultat sera-t-il suffisant pour que la prescription se généralise ? Explications.

L'ACHARNEMENT DES PATIENTS et celle d'une poignée de médecins a fini par porter ses fruits. Après des années d'indifférence — et de réticences — de la part des institutions publiques, des laboratoires et de la majorité des alcoologues, deux études sur le baclofène ont pu être menées en France... Et elles viennent de livrer, bien que leurs résultats soient radicalement opposés, des conclusions sans appel en faveur de l'efficacité de ce médicament pour lutter contre la dépendance à l'alcool. La première, dite Bacloville et conduite par le professeur Philippe Jaury, professeur de médecine générale à l'université Paris-V-Descartes, annonce ainsi un taux de réussite jamais vu dans ce domaine : 56,8 % des patients sont parvenus à une « consommation médicalement correcte » d'alcool. Quant à la seconde, Alpadir, lancée en parallèle et conduite par Michel Reynaud, professeur en addictologie à l'hôpital Paul-Brousse (Paris), elle conclut... à une absence de différence entre le baclofène et le placebo. Mais il suffit d'en décrypter le protocole pour en invalider les résultats et, de fait, mettre davantage en exergue tout l'intérêt de la première.

Pour que le baclofène soit efficace, il faut en effet que le patient augmente progressivement sa dose journalière jusqu'à parvenir



En mars 2011, Yves Frasey témoignait à visage découvert pour « Sciences et Avenir » de la prise de baclofène contre son addiction.

49 000
personnes
meurent de l'alcool
chaque année
en France.

à un palier où il n'éprouve plus qu'indifférence vis-à-vis de l'alcool. Cette « dose-palier » varie d'un individu à l'autre mais plusieurs études ont montré que la moyenne, autant que la médiane, se situeraient autour de 180 mg (18 comprimés par jour). En clair, cela signifie que si une moitié des patients se contente de moins, l'autre moitié a besoin d'une dose supérieure avant d'atteindre sa zone d'« indifférence alcoolique ». Forte de cet enseignement, l'étude Bacloville, lancée en mai 2012 sur 320 patients, avait posé 300 mg comme dose maximale. *A contrario*, Alpadir, lancée également en 2012 sur 320 patients, fixait celle-ci... à 180 mg. Avec interdiction de dépasser ce seuil. Michel Reynaud avait alors justifié ce choix en disant que cette question avait fait l'objet de « deux ans de dis-

cussion ». Pourtant cela revenait d'emblée, dans ce contexte — comme l'avaient déjà souligné de nombreuses critiques — à laisser de côté quantité de patients qui auraient eu besoin d'une dose plus importante (lire Sciences et Avenir n° 797, juillet 2013). Ce qui fait dire à Bernard Granger qu'il s'agissait là « d'une étude mal conçue qui ne pouvait qu'échouer ! » Et le professeur de psychiatrie à l'hôpital Cochin (Paris) de s'insurger contre une majorité d'alcoologues qui entretiennent, selon lui, des liens d'intérêt avec les laboratoires pharmaceutiques et tentent de promouvoir des médicaments inutiles, mais rentables, au détriment du baclofène, molécule efficace mais générique.

Testé sous le manteau par les malades

Un soupçon récurrent, qui envenime le débat depuis ses origines, à savoir la parution en 2008 du livre choc d'Olivier Ameisen *Le Dernier Verre* (Denoël). Le cardiologue — décédé depuis — y racontait sa guérison inédite grâce à ce traitement générique, prescrit initialement pour la spasticité musculaire, qu'il avait décidé de tester de sa propre initiative pour lutter contre son alcoolisme. Aussitôt, alors que des centaines de malades choisissaient à leur tour de tester sous le manteau la molé-



PHILIPPE SCHULLER/SIGNATURES POUR SCIENCES ET AVENIR

Depuis six ans, Yves Frasey prend quotidiennement du baclofène et s'estime aujourd'hui guéri.

cule et témoignaient de leur satisfaction sur des forums d'entraide, la grande majorité des alcooliques vilipendaient la pratique et jugeaient ses effets secondaires dangereux. Quant aux laboratoires, aucun ne témoignait d'empressement à investir dans des études cliniques pour un produit ne promettant aucune manne financière.

Les conclusions de l'étude Bacloville rebattent désormais les cartes. Aucun traitement n'a en effet jamais permis de sortir ainsi de leur dépendance plus de 50 % des malades. Reste à poursuivre

les investigations pour éclaircir certains points encore méconnus, à commencer par l'ampleur réelle des effets indésirables. Pour cela une étude de suivi téléphonique de pharmacovigilance, Baclophone, coordonné par Benjamin Roland, du centre hospitalier régional universitaire de Lille, devrait livrer ses conclusions dans quelques mois. Ensuite, plus déli-

Une étude de suivi téléphonique est en cours pour mesurer l'ampleur des effets indésirables

cat, l'efficacité du produit sur la durée. Se prend-il à vie ? Faut-il aménager les doses en fonction du temps ?

Si aucune étude n'existe encore, la « bataille » du baclofène a cependant permis de susciter — par des forums sur Internet — de très larges communautés d'utilisateurs ne demandant qu'à témoigner de leur expérience. Ainsi, Yves Brasey, informaticien à la retraite, sous baclofène depuis mars 2010, et qui s'estime désormais guéri même s'il continue à prendre son traitement quotidiennement. Il avait été le ►



INTERVIEW

AMANDA STAFFORD,
URGENTISTE À L'HÔPITAL ROYAL DE PERTH (AUSTRALIE)

« C'est un bonheur d'avoir enfin un traitement efficace ! »

Vous prescrivez officiellement du baclofène dans votre hôpital en Australie. Comment avez-vous eu connaissance de ce médicament ?

Un patient sur huit vient aux urgences à cause de l'alcool. Ils sont nos malades les plus difficiles et la plupart d'entre eux ont déjà essayé tous les traitements disponibles comme l'acamprosate (commercialisé en France sous le nom d'Aotal) ou la naltrexone et ils sont passés par tous les centres de sevrage existants, sans aucun

résultat. Cette frustration de n'avoir aucun moyen de les soigner m'a poussée en 2013 à éplucher la littérature scientifique et à consulter sur Internet les forums de malades. C'est à cette occasion que j'ai découvert le baclofène, grâce à la France, et traité expérimentalement une centaine de patients depuis à l'hôpital.

Quels sont vos résultats ?

Analogues à ceux de l'étude française Bacloville (lire p. 88) : 60 % des patients parviennent à contrôler

leur consommation sous baclofène. Évidemment, les résultats dépendent beaucoup de la situation sociale du malade. Si elle est bonne, mon taux de réussite est de 80 %, mais il tombe à 30 % pour les SDF car il est presque impossible de sortir d'une addiction quand on vit dans la rue.

Quelles ont été les répercussions sur votre pratique ?

C'est un bonheur de disposer d'un traitement qui fonctionne ! Le baclofène

change tout, y compris chez ceux qui n'en prennent pas : le regard du personnel infirmier sur les alcooliques, autrefois considérés comme des personnes faibles et incurables n'est plus le même. De fait, les malades sont mieux considérés, donc ils vont mieux et ils se prennent davantage en main. C'est un cercle vertueux. J'essaie désormais de diffuser cette connaissance dans le monde anglophone*.

Propos recueillis par H. R.

* <http://baclofentreatment.com>

► premier malade alcoolique sous traitement à témoigner à visage découvert pour *Sciences et Avenir* (lire S. et A. n° 769, mars 2011) : « Il m'a fallu dix-huit jours pour parvenir à l'indifférence face à l'alcool. Pour cela, je suis monté à 140 mg, puis j'ai baissé progressivement les doses pour arriver à 30 mg en deux mois. Depuis, il m'est arrivé de monter ponctuellement à 50 mg. Même lorsque mon envie de boire remonte, je n'ai plus de "craving", cette compulsion irrépressible que connaissent

tous les alcooliques. Ainsi, alors que j'ai été très éprouvé cette dernière année par plusieurs deuils dans ma famille, je suis parvenu à garder le contrôle. »

Cela suffira-t-il à convaincre la communauté scientifique dans son ensemble ? À vrai dire, l'histoire du baclofène en rappelle une autre à l'urgentiste Amanda Stafford (lire l'interview ci-dessus), qui s'est déroulée dans sa propre université d'Australie-Occidentale au début des années 1980 et qui a valu

le prix Nobel à ses découvreurs, Barry Marshall et Robin Warren. Les chercheurs avaient en effet découvert que les ulcères de l'estomac, attribués alors au stress, étaient en réalité causés par une bactérie. Mais peu de spécialistes, dans l'establishment médical et pharmaceutique, tenaient alors à voir le *statu quo* chamboulé et les ulcères guéris. Car le marché des anti-acides, qui soulageaient sans guérir, était trop florissant pour être délaissé au profit d'un traitement antibiotique peu lucratif... Une décennie a été nécessaire pour que la vérité soit reconnue. L'histoire bégaierait-elle aujourd'hui avec le baclofène ? Voilà plus de dix ans qu'Olivier Ameisen a découvert un remède potentiel contre l'alcoolisme. Il serait temps qu'il soit enfin officiellement reconnu et largement testé : 49 000 personnes meurent chaque année en France d'une maladie alcoolique. ■ **Hervé Ratel**

PRESCRIPTION

Des forums et des ouvrages pour bien aborder la prise de baclofène

Bien qu'efficace, le baclofène est d'un emploi délicat. Traitement à la carte, il ne se prescrit pas n'importe comment et demande un accompagnement suivi avec un professionnel de santé qui connaît bien le médicament. Pour connaître l'adresse d'un médecin prescripteur près de chez soi, le mieux est de s'inscrire sur l'un des forums d'utilisateurs (Baclofene.org, baclofene.com) et de poser sa demande. Pour en savoir plus, il est également possible de consulter les ouvrages suivants : *Le Dernier Verre* (Olivier Ameisen, Denoël), *Vérités et mensonges sur le baclofène* (Renaud de Beaurepaire, Albin Michel), *La Fin de notre addiction* (collectif, Éditions Josette Lyon).

ENTREPRISES, COLLECTIVITÉS, FINANCEZ VOS BESOINS DE RECHERCHE,

DANS LES DOMAINES DES PROCÉDÉS TECHNOLOGIQUES, DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT
ET DE LA VIE, DES SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES



Dans le cadre d'un partenariat entre un étudiant, son laboratoire d'accueil et vous,
l'ADEME vous aide à produire des connaissances nouvelles et renforce les capacités humaines
de votre R&D en finançant un doctorant pendant 3 ans !

ENSEMBLE POUR CONSTRUIRE UN MONDE PLUS DURABLE

www.ademe.fr/theses



CONCEPTION & RÉALISATION GRAPHIQUE : OLFA NEMSI

Une maladie sanguine soignée par une thérapie génique inédite

Injectés sous forme de nanoparticules, des acides nucléiques peptidiques (ANP) ont permis à des souris souffrant de bêta-thalassémie de voir leur affection régresser.

POUR LA PREMIÈRE FOIS, une méthode d'édition génétique a permis de corriger avec une efficacité jamais vue une maladie du sang *in vivo* chez des souris adultes. Cette avancée publiée par *Nature Communications* a été obtenue grâce à l'injection d'acides nucléiques peptidiques (ANP), méthode beaucoup moins médiatisée que ne l'est le fameux CRISPR-Cas9, « couteau suisse » de la génétique. Conçus par l'équipe de Peter Glazer, du département de génétique de l'université Yale (New Haven, États-Unis), les ANP sous forme de nanoparticules ont fait régresser la bêta-thalassémie (une malformation des globules rouges) dont souffraient les souris. « Les ANP ont été mis au point voilà une vingtaine d'années mais péchaient jusqu'à présent par plusieurs limitations, dont une efficacité très faible. Avec cet article, les chercheurs ont fait un bond en avant en combinant différentes approches », commente Carine Giovannangeli, du Laboratoire structure et instabilité des génomes (CNRS, Inserm, Muséum national d'histoire naturelle de Paris).

Une anémie qui nécessite des transfusions sanguines

Les ANP se présentent sous la forme d'une courte séquence de bases puriques et pyrimidiques (les A, G, T, C de l'ADN) conçue pour reconnaître et se fixer sur la séquence cible de l'ADN cellulaire à modifier. Branchés sur des supports artificiels consistant en



Globules rouges sains et atteints de drépanocytose (allongés), une maladie qui pourrait être corrigée par les ANP.

une succession d'unités de glycine, ceux-ci se comportent comme des nanoparticules et sont capables de pénétrer plus facilement dans les cellules que ne savent le faire les CRISPR.

Maladie très étudiée, la bêta-thalassémie affecte plusieurs mil-

lions de personnes dans le monde et se caractérise par une anémie profonde qui nécessite des transfusions sanguines fréquentes. Seulement, ces dernières sont lourdes et ont des effets secondaires graves voire mortels puisque à force, elles empoisonnent le malade par une surcharge toxique en fer. La bêta-thalassémie a déjà fait l'objet d'essais de thérapie génique en France en 2010 par l'équipe du Pr Philippe Leboulch (CEA, Inserm, université Paris-XI). C'est également cette maladie que des médecins chinois ont annoncé avoir inactivée en avril 2015 chez des embryons humains avec la technique CRISPR-Cas9. En comparaison, Peter Glazer et son équipe réussissent avec leurs ANP à cibler des organismes adultes et non la poignée de cellules que constitue un embryon. De plus, ils démontrent qu'il n'est pas forcément nécessaire de corriger 100 % des cellules malades d'un organisme pour soigner une maladie. Ils n'ont réussi à muter le gène défectueux que dans 7 % des cellules visées. Pourtant, cela a suffi à contrecarrer durablement la maladie chez les rongeurs.

« En théorie, cette approche s'applique à d'autres maladies, tout particulièrement les affections sous le contrôle d'un seul gène », poursuit Carine Giovannangeli. En dehors de la bêta-thalassémie, une autre maladie génétique du sang, la drépanocytose pourrait être corrigée *in vivo* par cette thérapie. ■

Hervé Ratel



ENSEMBLE, CONTINUONS À FAIRE
VIVRE LA "PETITE IDÉE" DE COLUCHE



on compte sur vous
Coluche

Suivez-nous sur   

Téléchargez notre app sur



© Gaston BERGERET - Paris 1967

FAITES VOTRE DON en ligne sur www.restosducoeur.org
ou scannez le code



PENSEZ-Y

- **30 €** assurent un repas quotidien pour une personne pendant 1 mois
- **90 €** assurent un repas quotidien pour une personne pendant tout l'hiver
- **180 €** assurent un repas quotidien pour une maman et son enfant pendant tout l'hiver
- **530 €** aident une famille tout l'hiver

LOI COLUCHE

Les dons des particuliers aux Restos du Cœur bénéficient d'une **réduction d'impôt de 75% jusqu'à 530 €**

BULLETIN DE SOUTIEN

À compléter et envoyer sous **enveloppe non affranchie** à :

Les Restaurants du Cœur - Libre Réponse 53061 - 91129 PALAISEAU Cedex

☐ M

☐ Mme

P3225

Nom

Prénom

Adresse

Code Postal

Ville

Email

@

Téléphone

- ☐ Je demande à recevoir mon reçu fiscal par mail
- ☐ Je ne souhaite pas recevoir d'informations des Restos du Cœur sur mon adresse mail
- ☐ Je souhaite recevoir la documentation « Legs, donation et assurance-vie »



La barrière qui restreint l'infiltration du sang dans le cerveau est renforcée par un peptide, permettant de mieux bloquer les cellules inflammatoires (vue d'artiste).

GUILLAUME ELAN/SPL/COSMOS

Nouvelle piste pour la sclérose en plaques

L'injection répétée d'un peptide a fait régresser des symptômes de la maladie chez la souris.

UN NOUVEAU MOYEN DE BLOQUER L'ÉVOLUTION de la sclérose en plaques (SEP), cette maladie auto-immune qui s'attaque aux neurones du cerveau et de la moelle épinière, a été découvert par des chercheurs de l'université de Münster, en Allemagne. Pour l'heure, l'expérience a été réalisée chez la souris mais elle apparaît extrêmement prometteuse. L'injection d'un peptide (molécule formée d'acides aminés) synthétique (NDP-MSH) répétée tous les deux jours a supprimé chez les rongeurs les symptômes de deux modèles de la maladie. La NDP-MSH est une version plus stable et plus puissante d'une petite hormone (alpha-MSH) connue pour son effet protecteur sur les neurones et pour ses vertus anti-inflammatoires. L'imagerie cérébrale des souris a révélé que leur cerveau était devenu beaucoup moins perméable à l'infiltration des cellules inflammatoires transportées par le sang. La NDP-MSH réunit ainsi deux effets visés par les traitements les plus récents contre la SEP : une diminution de l'activation

des cellules immunitaires et une restriction de leur passage dans le cerveau. Plus encourageant encore, ce produit est déjà utilisé comme médicament (afamélanotide) dans plusieurs pays européens. Son indication actuelle est le traitement d'une forme d'hypersensibilité à la lumière solaire, car il stimule aussi les mélanocytes responsables de la pigmentation de la peau.

Bientôt des essais cliniques chez l'homme

Les essais cliniques de la NDP-MSH chez l'homme pourraient donc démarrer rapidement pour évaluer sa toxicité à long terme et les doses applicables au traitement de la SEP. Les chercheurs ne comptent pas s'arrêter là. « Nous sommes en train de tester si d'autres pathologies neuro-inflammatoires comme la maladie d'Alzheimer ne pourraient pas également bénéficier des multiples effets de la NDP-MSH », précise Karin Loser, la responsable de ces recherches et détentrice d'un brevet pour cette nouvelle indication. ■ **Pierre Kaldy**



Michel Cymes,
Emma Strack, Chêne,
288 p., 29,90 €

Les Arnaques de la médecine

Ne pas tomber dans le panneau lorsque la maladie nous touche. Ne pas se laisser tenter par les remèdes miracles qui sont autant de dérives thérapeutiques. C'est ce que le médiatique médecin Michel Cymes veut démontrer dans ce livre en recensant sans détour ce qu'il estime être les plus grandes arnaques de la médecine d'hier et d'aujourd'hui : de la naturopathie anticancer pratiquée par Steve Jobs à la conception délirante de l'être humain selon la scientologie, jusqu'aux dérapages incontrôlés de l'industrie pharmaceutique dont le Mediator est l'emblème actuel. ■ **Olivier Hertel**



Rebecca Jordan-Young,
Belin, 640 p., 28 €

Hormones, sexe et cerveau

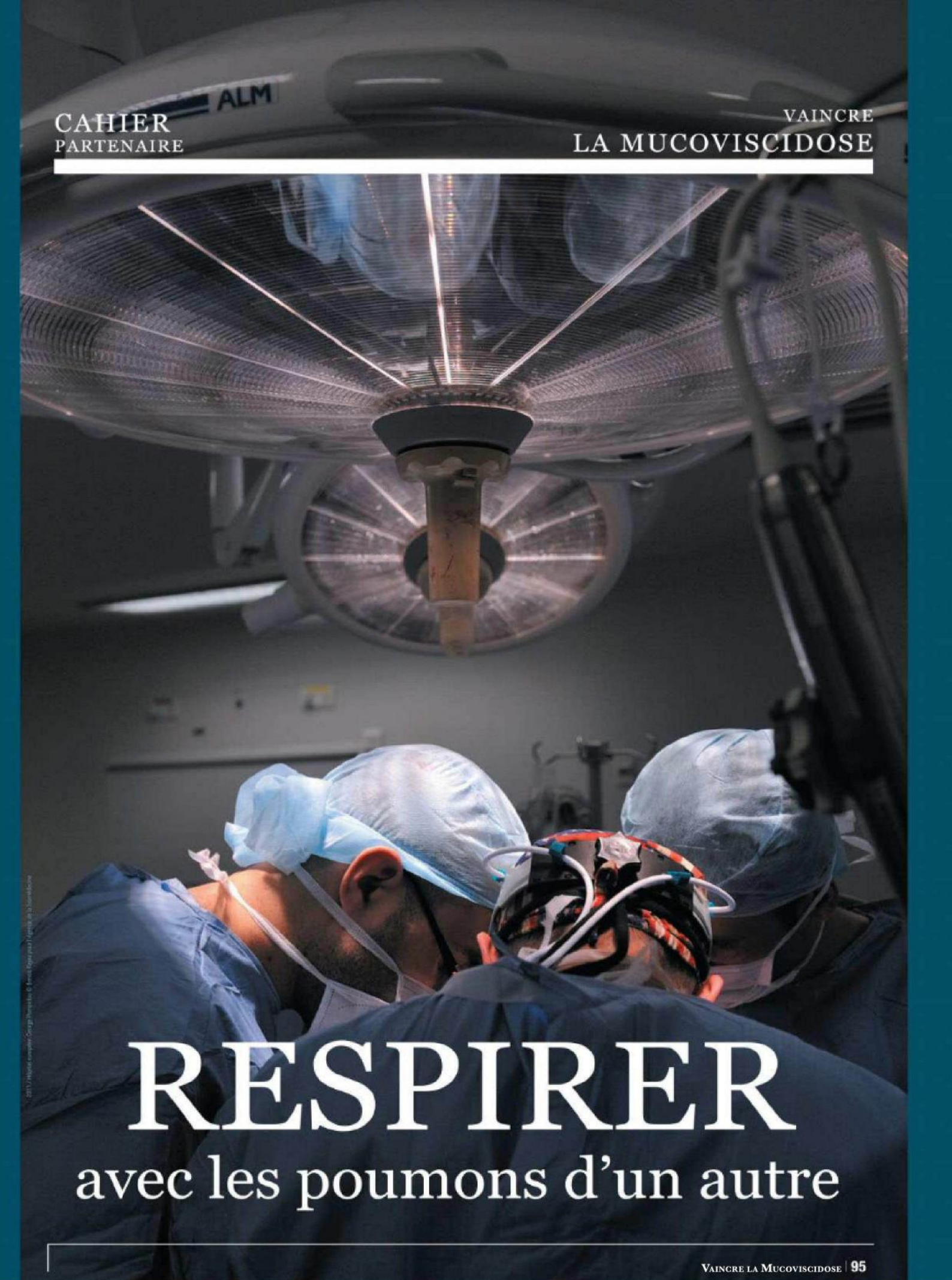
Une analyse critique de la populaire « théorie hormonale de l'organisation cérébrale », selon laquelle hommes, femmes, hétérosexuel(les) et homosexuel(les) auraient des prédispositions psychologiques différentes sous l'influence des hormones reçues à l'état fœtal. Rebecca Jordan Young, professeure en sociologie des sciences du Barnard College (New York) montre que la théorie s'appuie sur des données scientifiquement inconsistantes, des méthodologies ou des interprétations biaisées. Un essai salutaire. ■ **Rachel Mulot**



Idriss Aberkane,
Robert Laffont,
278 p., 19 €

Libérez votre cerveau !

Écrit par un consultant au CV controversé, cet essai théorise les défauts de notre système éducatif, affirmant qu'« il ne faut pas forcer le cerveau à ressembler à notre école, mais l'inverse ». Une attaque en règle où l'auteur tresse habilement données de neurosciences, anecdotes, références historiques et... théories très personnelles. Un mélange des genres plutôt gênant. Un ensemble touffu, indigeste par moments, même si certaines idées peuvent faire mouche. ■ **Elena sender**



CAHIER
PARTENAIRE

VAINCRE
LA MUCOVISCIDOSE

RESPIRER

avec les poumons d'un autre

Respirer avec les poumons d'un autre

La recherche biomédicale a fait de tels progrès que les patients atteints de mucoviscidose ont désormais le temps de vieillir. Dernière étape sur le parcours thérapeutique, la greffe de poumons leur offre un nouveau départ. Grâce à des techniques très innovantes, ils sont plus nombreux à y avoir accès.



Les chirurgiens préleveurs déballet pour préparation les poumons qu'ils ont prélevés

« **L**a transplantation pulmonaire a été une renaissance. J'ai retrouvé une vie sociale, une vie de couple et j'éprouve même le bonheur d'avoir mal aux jambes ! » Récemment, Frédéric, 42 ans, a repris l'activité physique. Pourtant, avant sa greffe réalisée quelques mois plus tôt, il ne pouvait parler sans reprendre son souffle à chaque mot. Lorsqu'il avait trois mois, les médecins lui ont diagnostiqué une mucoviscidose. En France, tous les trois jours, un bébé connaît un sort similaire. Dans les années 1960, ces enfants dépassaient rarement l'âge de sept ans. Aujourd'hui, nombreux sont les patients à connaître l'âge adulte et les vicissitudes d'un vieillissement précoce. Quand les traitements atteignent leurs limites, ne reste plus qu'une seule solution : la transplantation pulmonaire.

« L'insuffisance respiratoire chronique est le symptôme majeur que doit combattre le patient atteint de mucoviscidose. La colonisation progressive des poumons par des

bactéries et des champignons, que des traitements de plus en plus rapprochés ne permettent plus d'éradiquer, place le patient, sa famille et les soignants dans une situation

CHIFFRES CLÉS

- **1963** : 1^{re} greffe mono-pulmonaire dans le monde
- **1986** : 1^{re} greffe bi-pulmonaire dans le monde
- **1987** : 1^{re} greffe bi-pulmonaire en France
- **1988** : 1^{re} greffe bi-pulmonaire chez un patient atteint de mucoviscidose
- **En 2014**, près de 700 patients atteints de mucoviscidose vivent avec une greffe pulmonaire. Cela correspond à 1 malade sur 10, et à 1 sur 5 chez les adultes.
- La durée médiane d'attente d'un greffon est passée de **11 mois au début des années 2000 à 3 mois en 2015**. La moitié des candidats à une greffe sont opérés moins de 3 mois après leur inscription sur liste d'attente.
- La technique de réhabilitation ex-vivo permet de diminuer le délai d'attente à **moins de 30 jours**.

LA MUCOVISCIDOSE, UNE MALADIE INVISIBLE

La mucoviscidose est l'une des maladies rares les plus fréquentes. En France, 7000 personnes environ sont concernées. Il s'agit d'une maladie génétique, qui résulte d'un défaut de l'ADN dans un unique gène. Seul l'enfant porteur des deux exemplaires du gène muté, hérités de chacun des deux parents, déclare la maladie. Ce gène est à l'origine de la fabrication de la protéine CFTR, chargée d'assurer l'équilibre des cellules en eau et en sel. Quand elle ne fonctionne pas ou mal, les sécrétions sont plus épaisses. Elles deviennent visqueuses. Dans les poumons, le mucus s'accumule. Les bactéries, normalement évacuées par un mucus plus liquide, colonisent peu à peu l'organe. C'est pourquoi les personnes atteintes par cette maladie invisible souffrent d'infections à répétition. En plus des poumons, organes les plus gravement atteints, d'autres organes sont touchés : pancréas, foie, testicules, etc. La recherche biomédicale a accompli de grands progrès. Désormais, la moitié des patients parviennent à l'âge adulte.

où le seul choix possible est la greffe des poumons. C'est le moyen ultime pour permettre aux patients de poursuivre leur vie », explique Pierre Guérin, président de l'association Vaincre la Mucoviscidose. Un patient sur dix est concerné. Un sur cinq chez les adultes malades. Aujourd'hui, en France, une centaine de nouvelles transplantations est réalisée chaque année, essentiellement chez des adultes. Un tiers d'entre elles concerne des patients atteints de mucoviscidose. Sur les douze centres pratiquant l'opération, seuls neuf les prennent en charge (l'Hôpital européen Georges-Pompidou à Paris, l'Hôpital Foch à Suresnes, les CHU de Grenoble, Bordeaux, Lyon, Marseille, Nantes, Strasbourg et Toulouse).

La greffe, une nouvelle épreuve

« La greffe des poumons n'est pas une guérison de la maladie, poursuit Pierre Guérin. C'est plutôt une nouvelle contrainte. » Les risques sont énormes et les traitements restent lourds. Il n'empêche : avant la transplantation, un patient est obligé de consacrer de très nombreuses heures chaque jour à ses soins. Après la greffe, une dizaine de minutes peuvent suffire, parfois moins. Et la douleur n'a rien à voir. « Quand on m'a parlé de la greffe, j'étais prête. C'était devenu tellement difficile de respirer ! » témoigne

Sophie, greffée depuis 13 ans. L'accès à la technique conditionne la survie des patients. Mais plusieurs obstacles se dressent sur ce chemin. Pour commencer, le patient doit être préparé. « Son information est importante. La décision médicale doit être partagée, explique Virginie Colomb-Jung, directrice médicale de l'association Vaincre la

mucoviscidose. Car le patient doit bénéficier d'une réhabilitation physique et nutritionnelle pour mieux supporter l'agression qu'est la transplantation. »

Une fois prêt, le malade peut recevoir le greffon. L'équipe médicale qui le soutient se heurte alors au manque d'organes. Jusqu'en 2003, les donneurs – le plus souvent des personnes décédées des suites d'un accident – devaient avoir moins de 56 ans. L'année suivante, pour augmenter le nombre de greffons disponibles, les critères concernant le donneur et ses poumons (âge, gaz du sang, radio pulmonaire, etc.) ont été élargis. « Mais en 2009, on refusait encore 28 % des organes provenant de donneurs à critères élargis », rappelle Edouard Sage, du service de chirurgie thoracique et transplantation pulmonaire à l'Hôpital Foch, à Suresnes. Il faut dire que le poumon est un organe très sensible à l'infection.

Reconditionner les poumons

Aussi l'équipe du chirurgien a-t-elle décidé de mettre en place une procédure développée à Toronto, au Canada. Il s'agit de reconditionner ex-vivo les greffons pulmonaires. Une fois



Installation de circulation extra corporelle lors de la greffe bi-poumons.



Arrivée sous escorte d'un véhicule transportant deux poumons pour greffe.

prélevés, les organes sont placés dans une étonnante boîte. Maintenu à 37 °C, cette enceinte stérile permet aux poumons d'être ventilés mécaniquement et perfusés avec une solution spécifique. Mesurés au début et à la fin de la procédure, une série de paramètres permettent d'évaluer la qualité du greffon. « La technique augmente le nombre de greffons transplantables et diminue le délai d'attente des patients. Elle a aussi tendance à réduire les défaillances graves des greffons », résume Edouard Sage. A l'hôpital Foch, la première transplantation après réhabilitation a eu lieu en 2011. Entre avril 2011 et novembre 2015, 270 transplantations pulmonaires ont eu lieu sur plusieurs centres, dont 40 % sur des patients atteints de mucoviscidose et 16 % à partir de greffons reconditionnés. « Globalement, les résultats sont similaires entre le groupe témoin et le groupe ex-vivo. Nous avons plus de 90 % de survie à un an », note Edouard Sage. Dans son établissement, le délai moyen d'attente est tombé de 78 jours en 2005 à moins de 30 aujourd'hui. Pour généraliser l'accès à ces greffons d'un nouveau type, reste à obtenir le remboursement du surcoût de la procédure, évalué à 13000 euros pour chaque greffon.

Eviter le rejet

« Après la transplantation, il y a un risque de rejet du greffon, concède Virginie Colomb-Jung. Les patients peuvent aussi développer du diabète, de l'ostéoporose ou une maladie rénale, complications qui s'installent à la

faveur du traitement immunosuppresseur qui doit justement s'opposer au rejet du greffon. » Chaque année, de 1 % à 4 % des patients ayant bénéficié d'une transplantation pulmonaire décèdent d'une dysfonction chronique du greffon pulmonaire (Clad, en anglais, pour « Chronic lung allograft dysfunction »). Ce rejet chronique commence souvent par une bronchiolite ou une fibrose de l'organe. Les spécialistes imaginent que les agressions continues contre l'épithélium bronchique (infections, réactions immunitaires, pollution) maintiennent un contexte inflammatoire et provoquent un processus de réparation aberrant qui se traduit par une obstruction des bronches par un tissu fibreux.

Mais pourquoi certains patients sont-ils touchés et d'autres pas ? Pour le savoir, une

cohorte a été mise en place, avec le soutien financier de Vaincre la Mucoviscidose et de l'Association Grégory Lemarchal. Depuis 2009, 1400 patients ont été inclus en France. En Europe, douze centres de transplantation pulmonaire participent à l'élaboration de cette cohorte baptisée COLT (pour Cohort in Lung Transplantation, en anglais). Elle compte désormais près de 2000 transplantés. Plus de 30 % d'entre eux ont la mucoviscidose. « C'est une cohorte unique au monde », soutient Christophe Pison, pneumologue au CHU de Grenoble, impliqué dans le projet. En étudiant une foule de critères à long terme, comme l'état clinique de la personne, la présence et la nature des bactéries dans les poumons, la pollution atmosphérique connue grâce à la géolocalisation, etc., les chercheurs espèrent identifier une signature clinique du rejet chronique. Ils cherchent de nouveaux biomarqueurs spécifiques. Car en prédisant l'événement à l'avance, on pourrait peut-être le prévenir avec des traitements adéquats. L'étude de cette cohorte a apporté de nombreux résultats. Ainsi, la pollution influence la survie du greffon. On peut aussi prédire son rejet grâce à une analyse du transcriptome sanguin, c'est-à-dire de l'ensemble des ARN, ces molécules qui permettent de fabriquer des protéines à partir des gènes. La recherche suscite donc de nombreuses attentes. « On espère arriver à neutraliser la maladie », conclut Pierre Guérin. ■

LES VICTOIRES D'UNE ASSOCIATION

« Nous sommes portés par la rage de vivre de nos enfants. » Pierre Guérin, président de l'association Vaincre la Mucoviscidose se fait le porte-parole de tous les adhérents et bénévoles. Il est lui-même père d'un jeune de 18 ans, le dernier d'une fratrie de cinq, atteint par la maladie. « Partout en France, de nombreux parents s'engagent. Ils s'investissent souvent après le choc du diagnostic. Ils organisent notamment des Virades de l'espoir. » L'événement a lieu chaque année. Il permet de récolter des fonds auprès du grand public, assurant ainsi la moitié du budget de l'association. Ces ressources lui permettent d'investir plus de trois millions d'euros par an dans la recherche. Vaincre la Mucoviscidose soutient plusieurs projets de recherche, dans le domaine de la transplantation pulmonaire notamment. Elle milite également auprès des autorités pour faciliter l'accès pour tous aux nouvelles techniques.

VAINCRE **jour après jour**

**La mucoviscidose
est une maladie génétique
qui ne se guérit pas.**

Aujourd'hui, la transplantation
pulmonaire est l'ultime recours
pour prolonger un peu plus
la vie des patients.

**FAITES
UN DON**

vaincrelamuco.org

**VAINCRE LA
MUCOVISCIDOSE**

Viviane Balloy, ingénieur de recherche



Elle bat l'humain au go

Le 15 mars 2016, la partie de jeu de go entre le Sud-Coréen Lee Sedol et le programme AlphaGo (ici diffusée en ligne et en direct à Séoul) a été remportée par ce dernier.

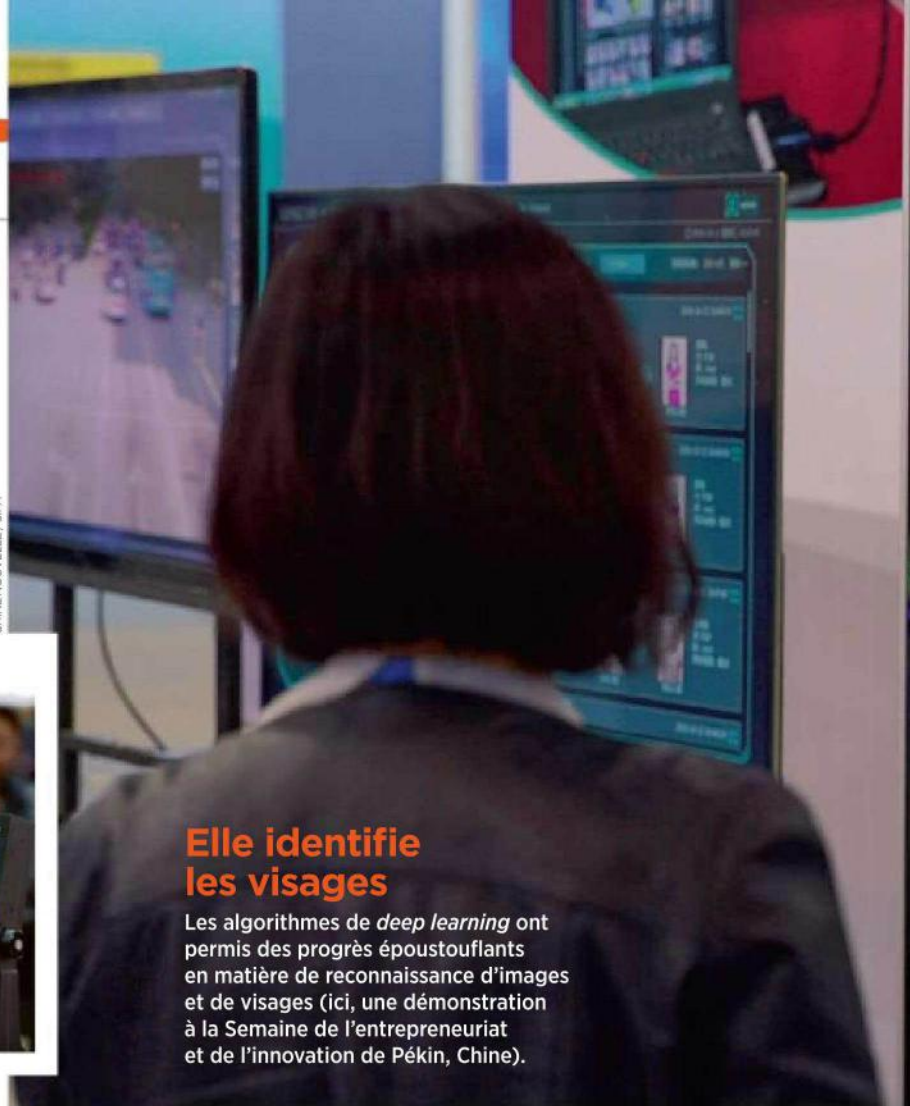
CHINE NOUVELLE / SIPA



JUNG YEON-JA / AFP

Elle identifie les visages

Les algorithmes de *deep learning* ont permis des progrès époustouflants en matière de reconnaissance d'images et de visages (ici, une démonstration à la Semaine de l'entrepreneuriat et de l'innovation de Pékin, Chine).



L'intelligence artificielle fait un bond fulgurant

Grâce aux algorithmes d'apprentissage automatique, l'intelligence artificielle (IA) réalise des prouesses jugées encore impossibles il y a peu. Au point que certains experts s'alarment de son éventuelle suprématie sur l'intelligence humaine.

Par Arnaud Devillard

LEE SEDOL EN EST PERSUADÉ. Classé quatrième meilleur joueur de go au monde en cette mi-mars 2016, il va gagner 5-0, ou au moins 4-1, le match qu'il s'apprête à disputer. La veille de la première manche, ce champion sud-coréen se sent beaucoup moins sûr de lui. Son adversaire a des avantages indéniables, admet-

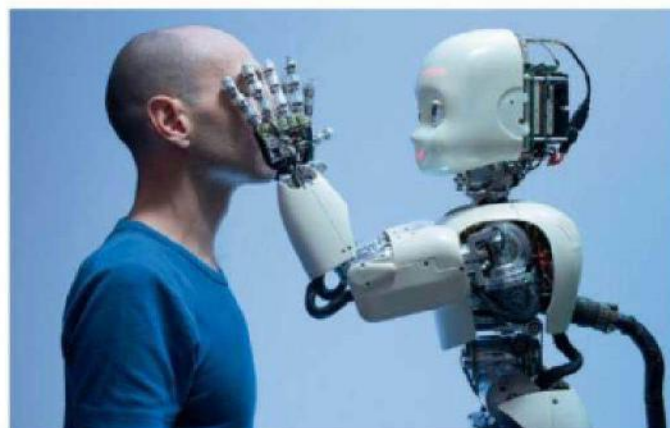
79 %

des jugements de la Cour européenne des droits de l'homme ont été prédits correctement par une IA, après analyse de la jurisprudence relative à 584 affaires.

il en conférence de presse. « *Il est important de percevoir l'énergie et la force de son opposant. Mais dans ce match, il est impossible de ressentir ça.* » De fait, Lee Sedol s'incline 4 à 1 le 15 mars, n'ayant remporté que la quatrième manche deux jours plus tôt. Car le vainqueur s'appelle AlphaGo. Un programme d'intelligence artificielle (IA) de

la société DeepMind, filiale de Google.

Fondé sur des techniques d'apprentissage automatique, par lesquelles un programme se perfectionne au fur et à mesure de son utilisation, AlphaGo a assimilé quelque 30 millions de positions de jeu issues de parties réellement disputées et s'est entraîné



EMILE LORAUX / PICTURETANK

Elle donne corps et mouvements aux robots

iCub, conçu par des universités européennes, a la faculté d'apprendre mouvements et déplacements pour devenir peu à peu autonome.

en jouant contre lui-même. Très médiatisée, sa victoire contre Lee Sedol n'est cependant que l'événement le plus retentissant d'une vague récente de progrès spectaculaires.

Née officiellement en 1956 lors d'une conférence à l'université de Dartmouth (Royaume-Uni), cette discipline est passée par une alternance d'enthousiasme et de désintérêt (voir la chronologie pp. 102-103). Mais depuis 2011-2012, c'est un retour en grâce fulgurant. En septembre 2016, Inria lui consacrait son premier livre blanc et l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) doit rendre un rapport sur tous les aspects du sujet



NVIDIA

Elle guide les voitures

Les réseaux de neurones artificiels servent aux voitures sans chauffeur à se repérer dans leur environnement, à calculer leurs trajectoires ou à réagir à un obstacle.

(techniques, éthiques, juridiques, économiques) au cours du premier trimestre 2017. Aux États-Unis, la Maison Blanche a déjà sorti le sien (lire l'encadré p. 102). Outre des projets impressionnants qu'elle aide à développer, tels l'autonomie pour les Google Cars ou l'art de diagnostiquer des cancers et définir des traitements

personnalisés comme devrait pouvoir le faire l'ordinateur Watson d'IBM (lire S. et A. n° 798, août 2013 et n° 824, octobre 2015), l'IA se déploie tous azimuts. Dans les fonctions Google Now, Siri (Apple) ou Cortana (Microsoft), elle aide à la recherche par reconnaissance vocale ou analyse du langage naturel. Sur Facebook, elle permet d'identifier des visages. Pour le logiciel Skype de téléphonie sur Internet, elle vise la traduction en temps réel ! Microsoft est allé jusqu'à monter une équipe, dirigée par l'écrivain américain Jonathan Foster, pour donner une personnalité à Cortana, dans la manière dont ce programme répond. « Il s'agit de tenir compte du fait que les gens ressentent quelque chose en parlant à Cortana, qu'il existe une perception de cette interaction », expliquait l'écrivain lors des journées Microsoft Experiences organisées à Paris début octobre. En France, à l'université de Bour-

DEEP LEARNING déclinaison de l'apprentissage automatique (ou *machine learning*), par laquelle un algorithme détermine lui-même les caractéristiques qu'il va analyser.

RÉSEAU DE NEURONES ARTIFICIELS modèle algorithmique théorisé dès 1943 censé imiter le fonctionnement du cerveau humain et des connexions synaptiques.

GPU/CPU Graphics Processing Unit : composant électronique d'ordinateur servant au calcul de l'affichage de graphismes / Central Processing Unit : composant permettant l'exécution des programmes informatiques.

► nique, informatique et image a équipé son bâtiment du campus de Dijon d'un réseau de vidéosurveillance prototype capable de réagir sans intervention humaine à un événement anormal. Toutes les caméras communiquent entre elles de façon à ce que leurs flux vidéo se complètent. L'ensemble est analysé par un programme informatique central, sorte de « cerveau artificiel » du réseau. Ainsi, si une caméra filme un individu entrant dans un ascenseur mais qu'aucune autre caméra ne le voit sortir, c'est qu'il y a un problème. En cas d'incendie, ces mêmes caméras repèrent où se pressent les gens en fuite ; pour éviter l'engorgement, l'ordinateur central calcule et indique, sur des écrans placés dans les couloirs, des itinéraires alternatifs. Dans un autre ordre d'idées, chez Google, le programme WaveNet reproduit les inflexions de la voix humaine, pour rendre l'interaction plus naturelle avec des machines « parlantes », quand, au laboratoire de recherche informatique de Sony, une IA imite des styles musicaux : *Mr Shadow* aurait pu être écrite par Cole Porter, *Daddy's Car* par les Beatles. Qu'il paraît loin le temps où l'IA, à force de promesses non tenues, était considérée comme un sujet



SIPA

Les avancées de l'IA ne suscitent pas que de l'enthousiasme. Dans un rapport publié le 12 octobre, intitulé *Preparing for the Future of Artificial Intelligence*, la Maison Blanche craint les conséquences sur le marché du travail et l'économie. Le président des États-Unis,

Barack Obama, a renchéri lors d'une conférence à Pittsburgh, expliquant

ringard, voire non scientifique. De gros progrès en apprentissage automatique ont mené à l'effervescence actuelle, avec la conjonction d'au moins trois éléments : les réseaux de neurones, l'accès à une masse inédite de données et l'utilisation de processeurs graphiques (GPU, voir p. 101) en appui des processeurs habituels. La notion de « réseau de neurones artificiels », aussi ancienne que l'IA elle-même, a connu les mêmes déboires mais les travaux du Fran-

PROJECTION

IA, vers un scénario catastrophe ?

que son successeur allait devoir s'emparer du sujet de l'IA, en passe de devenir une question politique. Cette intervention arrive après une série d'alertes très médiatisées. Comme celle du célèbre astrophysicien britannique **Stephen Hawking**. En décembre 2014, suite à une question de la BBC sur la technologie qu'il utilise pour communiquer, il prévient : une IA pourrait « mettre fin à l'espèce humaine ». Non par sadisme mais parce qu'elle serait

devenue si performante qu'on ne pourrait plus contrer ses décisions. Le fondateur de SpaceX, l'Américain Elon Musk, tout en investissant dans le secteur, plaide pour une surveillance de l'utilisation de ces technologies. En décembre 2015, il a cofondé OpenAI, un organisme consacré au soutien de projets d'IA « amicales ». **Bill Gates** est plus ambivalent. Début 2015, le fondateur de Microsoft se dit préoccupé par le développement de



çais Yann LeCun, directeur de la cellule de recherche en intelligence artificielle chez Facebook, du Britannique George Hinton ou du Canadien Yoshua Bengio alimentent aujourd'hui la plupart des développements. « À partir de 2012, une nouvelle approche a permis de passer à des réseaux dotés d'un nombre considérable de couches internes, et non plus seulement deux ou trois », explique Jean-Claude Heudin, directeur de l'Institut de l'Internet et du

Une nouvelle discipline aux débuts chaotiques



LEEMAGE

◀ 1950

Dans un article de la revue *Mind*, Alan Turing réfléchit à la capacité des machines à penser et imagine le « jeu de l'imitation », appelé par la suite « test de Turing ».

Juillet 1956 ▶

Un atelier de l'université de Dartmouth fonde une nouvelle discipline : l'intelligence artificielle (IA).



DARTMOUTH COLLEGE

1966

Le programme conversationnel Eliza du MIT simule un échange avec un psychothérapeute.

1973

Publication du Lighthill Report constatant des faibles avancées de l'IA depuis 15 ans (Grande-Bretagne).

1943

Warren McCulloch et Walter Pitts élaborent le premier modèle mathématique d'un neurone biologique, le neurone formel.

1951

Premiers programmes de jeux de dames et d'échecs.

1955

Logic Theorist, premier programme capable de démontrer des théorèmes.



SRI

◀ 1966-1972

Développement de Shakey, premier robot à se déplacer en analysant son environnement.

1974

Coups drastiques dans les budgets de la Darpa (agence de recherche de la défense américaine) alloués à l'IA.

« super-intelligences » et approuve Musk. Mais en mai 2016, sur CNBC, il relativise, expliquant que les super-intelligences restent loin de voir le jour et que dans dix ou vingt ans, elles seront surtout très utiles. Dernier événement en date :

le 28 septembre, Facebook, Google, Amazon, Microsoft et IBM ont annoncé un « partenariat pour l'intelligence artificielle au bénéfice des citoyens et de la société ». Soit, même si les intéressés s'en défendent, un organisme de lobbying qui tentera sans doute de peser sur les velléités de régulations.



SIPA

Multimédia au Pôle universitaire Léonard-de-Vinci. C'est l'apparition du deep learning (lire S. et A. n° 812, octobre 2014). L'algorithme commence par extraire une caractéristique pertinente de la donnée qu'on lui soumet (un son, une image), délaissant les autres. Puis il identifie une autre caractéristique, et ainsi de suite pour arriver au résultat voulu. Finalement, c'est le réseau qui « décide » des critères à retenir. Entre des bases de données en ligne desti-

nées à la recherche et ce que les internautes publient eux-mêmes, Internet fournit toute la matière pour entraîner ce genre de réseau.

« On s'est aperçu qu'il valait mieux présenter beaucoup de données à un algorithme plutôt qu'un petit nombre extrêmement pertinent, poursuit Jean-Claude Heudin. C'est la quantité qui importe pour entraîner les réseaux. »

Enfin, associer aux CPU des GPU (voir lexique p. 101), capables de traiter beaucoup plus d'informations, a permis de doper les performances des réseaux de neurones et de les employer à des tâches plus complexes que la reconnaissance de caractères, par exemple (une de leurs premières utilisations dans les années 1990). Malgré ces avancées, les chercheurs restent prudents. « Les intelligences humaines ou animales sont bien plus diverses que la seule intelligence mathématique qui permet aux ordinateurs de jouer aux échecs », relativise Aymeric Poulain-Maubant, auteur d'un cahier de veille sur l'IA pour la Fondation Télécom. Tout le domaine des émotions, des intuitions, de l'instinct, qui façonne la prise de décision humaine, échappe largement aux machines. Sans parler de quelques contre-performances, comme le compte Twitter Tay-

POUR EN SAVOIR PLUS

Rejouer la partie de Lee Sedol contre AlphaGo
► sciav.fr/838go

Le cahier de veille Intelligences artificielles de la Fondation Télécom
► sciav.fr/838iatelecom

Sunspring, court-métrage tourné sur un scénario écrit par une IA
► sciav.fr/838sunspring

Les morceaux composés par l'IA du laboratoire d'informatique de Sony
► sciav.fr/838sony

andYou de Microsoft Research, un programme conversationnel à qui des internautes ont réussi, en échangeant avec lui, en mars 2016, à faire tenir d'horribles propos nazis ! Ou encore, début juin, le court-métrage *Sunspring*, tourné à partir d'un scénario de quatre pages généré par une IA pour un résultat disons... cryptique.

Des réseaux qui restent hyperspécialisés

« L'intelligence artificielle, c'est un personnage de cinéma, tout le monde en veut ou tout le monde en a peur, en tout cas elle ne laisse personne indifférent, estime François Sillon, directeur délégué à la science à Inria. Mais aujourd'hui, on est loin d'être arrivé au scénario où les robots prennent le contrôle de la société. » L'intelligence artificielle globale envisagée en 1956 relève toujours du fantasme. Car si les réseaux de deep learning donnent de si bons résultats, c'est qu'ils sont toujours spécialisés. « AlphaGo ne sait jouer qu'au go. Si on lui demande de jouer aux dames, il ne saura pas le faire », résume Jean-Claude Heudin. Sans compter qu'on a encore du mal à expliquer pourquoi cela fonctionne si bien autrement que par la démonstration. Qu'elle soit humaine ou artificielle, l'intelligence garde encore quelques mystères. ■

1980
DEC utilise le système expert XCON pour gérer les commandes clients d'ordinateurs. Ces programmes spécialisés relancent l'IA.



AFP

11 mai 1997
Deep Blue (IBM) bat le champion du monde des échecs Garry Kasparov.

2012
Un réseau de neurones artificiels remporte haut la main le concours annuel de vision par ordinateur ImageNet.

1987
L'Information Processing Techniques Office (Ipto) de la Darpa se dit déçu par les systèmes experts.

1995
Mise au point par Yann LeCun et Léon Bottou d'un réseau de neurones artificiels pour lire les chèques.



SIPA

Février 2011
Watson (IBM) remporte le jeu télévisé américain Jeopardy.

Mars 2016
Le programme de deep learning AlphaGo bat l'un des meilleurs joueurs de go au monde.

La centrale inertielle pour ne pas perdre le nord

Les militaires misent désormais sur la fusion de technologies éprouvées pour pallier les failles du système de navigation GPS, trop facilement piratable. Les voitures autonomes pourraient en bénéficier.

AVANT MÊME DE METTRE UN PIED dans le centre de R&D de Safran Electronics & Defense d'Éragny-sur-Oise, au nord-ouest de Paris, la consigne est claire : « *Pas de nom de nos chercheurs dans votre article et pas de photo du laboratoire.* » Et pour cause, pénétrer ici, c'est comme jeter un œil furtif dans l'univers ultrafermé de la navigation haute performance : « *Nous développons les systèmes de navigation des navires et des avions les plus secrets de nos armées : les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE), le porte-avions Charles-de-Gaulle ou encore l'avion de combat Rafale* », explique Patrick V., qui dirige le laboratoire Navigation du centre de recherche du groupe industriel français. Des technologies indispensables car si les avions, sous-marins, bateaux ou véhicules blindés ont, bien sûr, besoin de savoir en permanence exactement où ils se trouvent et dans quelle direction ils se déplacent, ils doivent



À bord du sous-marin nucléaire lanceur d'engins français (SNLE) « Le Terrible ». La navigation en plongée, durant laquelle GPS est inopérant, exige l'utilisation d'une centrale inertielle de très haute précision.

souvent le faire... sans GPS. Ce système de géopositionnement par satellite n'est en effet pas toujours assez fiable ni accessible. Par exemple, ses ondes radio ne pouvant pénétrer la surface de

l'eau, il est inutilisable par un submersible en plongée. Et à l'air libre, il peut être brouillé (*lire l'encadré ci-contre*).

Les militaires ont donc de plus en plus recours à ce que les spécialistes appellent la centrale inertielle. Son rôle : « ressentir » le moindre mouvement afin d'évaluer la distance parcourue et la direction de ce déplacement. Une fonction assurée par des capteurs de très haute précision : gyroscopes et accéléromètres. Chacun au nombre de trois, pour couvrir les trois dimensions de l'espace. Ainsi, les accéléromètres mesurent l'accélération du « porteur » — par exemple un

SÉCURITÉ

Le GPS manque de fiabilité pour l'armée

L'armée américaine a fait les frais des défauts du GPS en janvier lorsque deux de ses patrouilleurs ont été interceptés par la marine iranienne alors qu'ils erraient dans les eaux territoriales de la république islamique, apparemment sans le savoir. Si, officiellement, il s'agit d'une erreur de navigation des marins, deux chercheurs américains spécialistes de la navigation ont formulé une autre hypothèse : selon Mark L. Psiaki et Todd E. Humphreys, les Iraniens auraient très bien pu envoyer un faux signal GPS pour leurrer les bateaux américains. Déjà en 2011, l'Iran se félicitait d'avoir capturé sur son territoire un drone furtif classé top secret, propriété de la CIA, l'agence du renseignement américain. Le tout en « trompant » le GPS de l'aéronef pour le faire atterrir non en Afghanistan, comme prévu, mais au pays des ayatollahs.

PERFORMANCES

Des marges d'erreurs faibles

**Artillerie**

- ▶ Atteint une cible située à 100 km à 50 m près.
- ▶ Erreur de cap inférieure à 0,01 degré.

Aéronautique civile

- ▶ Dérive de moins de 40 km sur un Paris-New York
- ▶ Erreur de cap inférieure à 0,1 degré

Aéronautique militaire (Rafale)

- ▶ Dérive de 800 mètres sur un Paris-Marseille
- ▶ Erreur de cap inférieure à 0,05 degré

Bateau militaire

- ▶ Il se trouve dans un cercle d'un rayon inférieur à 1 mille marin (1852 m) de sa position réelle après 24 h de navigation.

Sous-marin conventionnel

- ▶ Il se trouve dans un cercle d'un rayon inférieur à 1 mille marin (1852 m) de sa position réelle après 96 heures de navigation.

Sous-marin nucléaire

- ▶ Strictement confidentiel, mais performance supérieure à celle du sous-marin conventionnel.

BETTY LAFON

avion — et les gyromètres captent les rotations afin d'identifier la direction de cette accélération (nord, sud, est, ouest). « Nous calculons alors la vitesse pour en déduire la distance parcourue au cours du temps depuis une position de départ connue et établissons la latitude et la longitude », explique Charles C., ingénieur spécialiste du domaine chez Safran Electronics & Defense.

Principaux atouts de la centrale inertielle : son fonctionnement en toutes circonstances et l'impossibilité de la neutraliser à distance. Seule contrainte : elle doit être hybridée avec d'autres moyens de mesure pour obtenir un tel niveau de précision. « C'est en fusionnant les données provenant de ces différents capteurs que l'on obtient les meilleures performances, précise Fabien Napolitano, directeur R&D et produits chez iXblue, société française spécialisée dans les technologies de navigation inertielle, fournisseur de la marine britannique. Ainsi, les sous-marins civils, qui n'ont pas de contraintes de discrétion, utilisent des systèmes acoustiques complémentaires pour mesurer très précisément leur vitesse par rapport au fond de la mer. Les erreurs des uns sont compensés par la précision

▲
La technologie
inertielle seule ne suffit pas. Pour une précision de navigation maximale, elle doit être hybridée avec d'autres techniques comme les systèmes acoustiques.

des autres et inversement. » Car la centrale inertielle dérive avec le temps (voir l'infographie ci-dessus), alors qu'un GPS donnera toujours la bonne position même après un mois de navigation... sauf s'il est brouillé. « Dans ce cas, c'est la centrale inertielle qui compensera son erreur, car elle est insensible au brouillage », souligne Charles C.

Une technologie applicable à la voiture autonome

Ces technologies inertielles très haut de gamme sont également très coûteuses : de 50 000 € à un million d'euros selon le niveau de performance. Elles sont donc pour l'heure réservées au domaine militaire et à quelques applications civiles, notamment les avions de ligne, les satellites ou encore les sous-marins de l'industrie offshore. Mais elles font leur entrée dans le monde de l'automobile, en particulier pour le développement de la voiture autonome. « Nous tra-

vaillons sur le projet Drive4U avec l'équipementier automobile français Valeo, poursuit Charles C. La voiture est équipée d'une centrale inertielle et de capteurs comme des caméras, des radars et un système de détection laser (lidar). Ceux-ci produisent une cartographie en temps réel de l'environnement dans lequel le système se repère en identifiant des points fixes comme un arbre, un panneau, etc. La navigation devient alors très précise, car elle fusionne toutes ces données. »

Une « démocratisation » qui a toutefois ses limites. Pas question de doter les smartphones de centrale inertielle de haute précision : les gyroscopes et accéléromètres qui les équipent coûtent moins de 5 € pièce et sont cantonnés à des fonctions simples comme adapter l'orientation de l'écran en reconnaissant le mouvement du téléphone lorsqu'il passe d'une vue portrait à une vue paysage. La précision des gyroscopes est d'ailleurs sommaire, avec un niveau d'erreur de quelque... 5000 degrés par heure. Dans ces conditions et même si tous les chemins mènent à Rome, s'y rendre sans GPS sera beaucoup plus aventureux ! ■

Olivier Hertel

@OlivierHertel

Ses principaux atouts : son fonctionnement en toutes circonstances et l'impossibilité de la neutraliser à distance

Martin Vetterli, mathématicien

Le champion de la science ouverte

Ce chercheur prendra en janvier la direction de la très renommée École polytechnique fédérale de Lausanne, en Suisse. Son cheval de bataille : accélérer la diffusion gratuite des résultats de la recherche.

LE COMPROMIS. MARTIN VETTERLI est tout entier contenu dans ce mot. « Ici en Suisse, nous avons trois langues différentes (français, italien et allemand) et deux religions dominantes (catholicisme et protestantisme). Soit tous les ingrédients nécessaires pour se taper dessus ! Sans le sens du compromis, notre pays n'existerait pas », s'amuse ce mathématicien, chercheur à la très renommée École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), qui entend concurrencer les plus grandes universités américaines et dont le projet le plus ambitieux est certainement le Human Brain Project. Costume élégant, allure svelte, Martin Vetterli, qui prendra la direction de l'EPFL en janvier, compte bien, dans ses futures fonctions, appliquer avec efficacité sa philosophie conforme à l'esprit helvétique. Car succéder à Patrick Aebischer, dont tout le monde s'accorde à saluer le travail remarquable en seize ans passés aux commandes de l'école, ne sera pas chose facile ! Pas question d'amorcer un virage à 180°, ni de se contenter d'une succession sans éclat. L'homme, en perpétuel mouvement, a une idée très précise de sa mission. Et elle pourrait bien faire grin-

BIO EXPRESS

1957 Naissance à Neuchâtel (Suisse).

1981 Ingénieur de l'École polytechnique fédérale de Zurich (ETHZ).

1982 Master à l'université de Stanford (États-Unis).

1986 Doctorat à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).

1986 Professeur associé à l'université de Columbia (États-Unis).

1990 Professeur invité à l'ETHZ.

1992 Professeur associé à l'université de Californie, à Berkeley (États-Unis).

1995 Professeur à l'EPFL.

2013 Président du Conseil national de la recherche au Fonds national suisse.

2017 Président de l'EPFL.

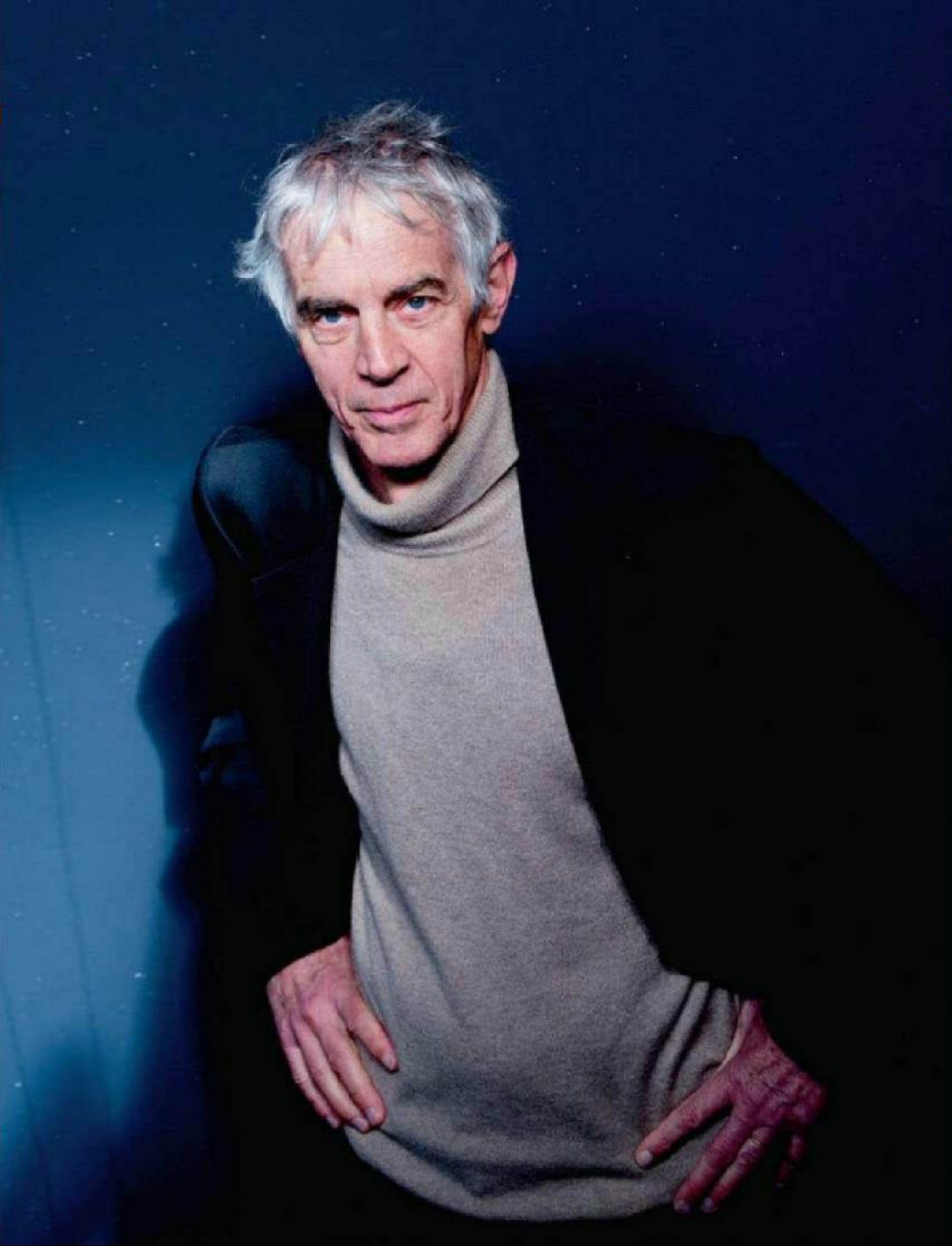
cer quelques dents. « J'aimerais que l'on devienne les vecteurs d'une science de qualité. Pour cela, il faut par exemple que l'informatique et la robotique s'insinuent plus largement dans toutes les disciplines. C'est important pour produire une bonne science, c'est-à-dire reproductible et fiable. »

Révolutionner l'évaluation de la science

Dans le viseur, les sciences de la vie où les méthodologies lui semblent souvent trop variées, incertaines et aux résultats difficilement reproductibles. Pour illustrer son propos, le mathématicien cite une publication très sarcastique de l'*American Journal of Clinical Nutrition* remettant en question le lien généralement fait entre aliments et cancer. En collectant les résultats de nombreuses études, les auteurs concluent avec ironie que tout ce que nous mangeons augmente le risque de cancer... tout en le diminuant. « C'est le résultat d'un manque de standards, de normalisation, de méthodologies fiables ! », assène-t-il. Parviendra-t-il pour autant à faire passer ce message — en douceur — auprès de ses collègues biologistes ? Son ami Stéphane Mallat, professeur

de mathématiques appliquées à l'École normale supérieure de Paris, veut y croire. « Il a des opinions et les exprime. Il peut même être "cash" ! Mais il n'est pas autoritaire pour autant. Il reste à l'écoute. S'il a accepté ce job, ce n'est pas pour sa carrière, mais parce qu'il est convaincu de pouvoir apporter quelque chose à l'école. »

Avec cette même rigueur qu'il doit certainement à sa discipline, Martin Vetterli pousse également à une réforme de l'évaluation de la science : « La revue par les pairs [qui donnent leur aval sur la validité d'une étude] qui conditionne toutes les publications dans une revue renommée n'est plus adaptée ! Face à l'explosion des données, trois personnes ne suffisent plus à juger si tels ou tels travaux méritent d'être publiés », affirme-t-il. Mais ce passionné de guitare jazz — à laquelle il a longtemps joué avec un collègue et ami de l'EPFL — ne compte pas improviser. Une des pistes qu'il envisage est l'open-science et l'open-data : un accès total et gratuit aux résultats, tant que cette recherche n'est pas contrainte par des enjeux commerciaux par exemple. « Les chercheurs mettent directement en ligne leurs résultats, avant publica-



DAVID WAGNIÈRES POUR SCIENCES ET AVENIR

tion, afin que toute la communauté puisse les étudier, les critiquer, les reproduire voire les améliorer. Du coup, la science bénéficie d'une sorte d'évaluation à l'échelle mondiale et la notoriété des chercheurs n'est plus seulement liée à leurs publications dans de prestigieuses revues comme *Nature* ou *Science*, mais aussi à l'influence de leurs productions sur les travaux de leurs collègues. » Bien sûr, Martin Vetterli

ne compte pas imposer une telle révolution par la force. Selon lui, la pression viendra tout naturellement de ceux qui adhéreront les premiers, l'idée faisant ensuite tache d'huile.

La situation dont hérite le nouveau patron de l'EPFL n'est pas plus étale sur le plan politique ! Depuis février 2014, une « votation » — un référendum d'initiative populaire — proposée par la

« Il a des opinions et il les exprime. Il peut même être "cash". Mais il n'est pas autoritaire pour autant »

Stéphane Mallat, professeur de mathématiques appliquées à l'École normale supérieure de Paris

droite populiste (UDC) a en effet réussi à imposer à une très courte majorité (50,3 %) des quotas de travailleurs étrangers. Cette décision entravant la libre circulation de ses ressortissants, l'Europe a exclu la Suisse des financements de la recherche qu'elle accorde aux États membres et aux États associés. Conséquence : les membres de l'EPFL ne peuvent plus prétendre aux crédits de l'ERC (European Research Council), accordés aux meilleurs chercheurs afin d'aider à les garder en Europe. *« Ces financements ne représentent que 10 % de notre budget, mais en termes de visibilité internationale, ils sont très importants. »*

Éthique et valeurs morales

Alors que la classe politique suisse, totalement prise de cours par cette votation, tente coûte que coûte de faire machine arrière, Martin Vetterli reste résolument optimiste : *« La Suisse ne peut pas rester à l'écart de l'Europe. Nous trouverons une solution »*, affirme cet humaniste que les activités de sa femme, infirmière auprès de réfugiés syriens et afghans, ont conforté dans sa méfiance du nationalisme et du populisme. *« Comme disent les Américains, il a le cœur accroché au bon endroit !* commente son ami Andreas Mortensen, professeur à l'EPFL. *Même si, en tant que président d'université, il ne pourra pas livrer trop ouvertement ses opinions sur ces questions. En Suisse, cela ne se fait pas. En revanche, il agira sans compromis selon l'éthique et ses valeurs morales. »* Pudiquement, Martin Vetterli avoue qu'il mesure la détresse humanitaire à ce témoignage entendu de petites filles afghanes tellement heureuses d'être en Suisse où elles peuvent enfin aller librement à l'école. Sa conviction est claire : *« L'éducation, c'est l'alpha et l'oméga. »* ■

Olivier Hertel

[@OlivierHertel](#)

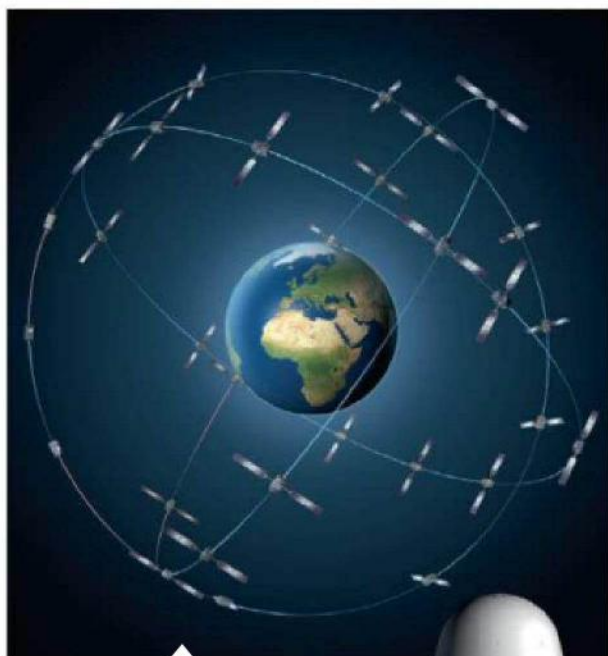
Le « GPS européen » va enfin démarrer

La mise en service de la constellation de satellites Galileo pourrait se faire en décembre. L'Europe disposera alors, après dix-sept ans d'attente, du système de positionnement le plus précis au monde.

C'EST CE MOIS DÉCEMBRE que la Commission européenne devrait donner enfin le « top départ » à Galileo, le système de positionnement et de datation européen amorcé en... 1999. Si tout se passe bien, le 17 novembre, quatre satellites Galileo auront en effet été lancés à bord d'Ariane 5, portant à 15 le nombre de satellites opérationnels. Un nombre suffisant pour permettre le démarrage de l'exploitation. Même si ce n'est qu'en 2020 que le service sera complet, lorsque les 30 satellites prévus seront en orbite.

Le programme Galileo a été amorcé il y a dix-sept ans pour doter l'Europe de son propre système de positionnement et garantir ainsi son indépendance face aux autres systèmes existants, l'américain GPS, le russe Glonass et le chinois Beidou. Après avoir alloué en 2008 un budget de 3,5 milliards d'euros pour la période 2008-2013, la Commission européenne a attribué 7 milliards d'euros pour la mise en place et l'exploitation des systèmes européens de navigation par satellite de 2014 à 2020.

De par sa précision, Galileo devrait largement supplanter le GPS. « Avec le GPS, on peut savoir où est un train en France ; avec Galileo, on pourra dire sur quelle voie il se trouve. Nous partons en retard, mais nous aurons d'emblée une longueur d'avance sur



Une trentaine de satellites au total seront placés sur 3 orbites à 23 222 km de la Terre (ci-dessous vue d'artiste de deux d'entre eux transportés par une fusée Soyouz).

nos concurrents », assure, confiant, Jean-Yves le Gall, président du Cnes, dont les ingénieurs ont conçu toute l'architecture du programme.

Le système Galileo fonctionne sous la houlette de la Commission européenne qui décide et supervise, de l'ESA (l'Agence spatiale européenne), qui construit les satellites et assure leur lancement et de la GSA (l'agence euro-

pénne de la radionavigation par satellite) basée à Prague (République tchèque) qui exploite le système. Dès 2017, celle-ci va proposer quatre services. Le premier, accessible gratuitement par tous, offrira l'accès au positionnement au mètre près, et, par sécurité, une authentification du signal utilisé, afin de le distinguer d'un leurre. Le second, payant, permettra un positionnement précis de quelques centimètres et une authentification encore plus sûre. Quant au service public réglementé, la partie gouvernementale, il disposera de signaux résistants aux perturbations électromagnétiques. Enfin, un service de secours pour permettre de partir à la recherche de personnes équipées d'un émetteur sera plus rapide et précis que le système actuel Cospas-Sarsat, qui dispose de moins de 10 satellites en orbite basse.

Le grand public aura donc prochainement accès à Galileo, sous réserve d'avoir une puce adéquate dans son smartphone. Les premières à être compatibles avec le GPS et Galileo devraient être commercialisées courant 2017 (ce n'est pas le cas des puces actuelles). Galileo servira également à la navigation aérienne, routière, maritime, ferroviaire, etc. « Il faut d'abord que nous fournissions les services pour que se créent des applications dont on n'a encore aucune idée aujourd'hui », conclut Jean-Yves Le Gall. ■

Sylvie Rouat

@Srouat1



Les big data au service du bien commun

Rencontre avec Marjolaine Grondin, la créatrice de Hello Jam, une plate-forme conversationnelle qui guide les jeunes dans leurs loisirs.

ET SI LES ALGORITHMES ET LES MÉGADONNÉES (« big data ») servaient à autre chose qu'à des fins mercantiles ? Et si, au sein de l'intelligence artificielle (IA), naissait un dessein altruiste et citoyen, qui crée du partage ? Marjolaine Grondin a décidé de répondre à ces interrogations en investissant le domaine du temps libre. Cette jeune diplômée de Sciences-po et d'HEC a créé Hello Jam* en mars 2015, une plate-forme conversationnelle qui propose aux étudiants et jeunes travailleurs d'optimiser leurs choix quotidiens et d'utiliser au mieux leurs loisirs. Avec pour ambition de proposer un service qui casse les habitudes et brise les solitudes plus que l'appât du gain.

Hello Jam est une intelligence artificielle dont la suite de techniques algorithmiques permet de répondre avec précision à la demande des utilisateurs. Ce que fournissent ces lignes de codes

nourries par les programmeurs, c'est une réponse immédiate — et gratuite — à un besoin ou à une envie dans le style d'une conversation de tous les jours. « Hello Jam agrège des bases de données existantes qui ont toutes un rapport avec la vie quotidienne des jeunes et qui deviennent ainsi plus facilement accessibles », poursuit Marjolaine Grondin. La plate-forme donne aussi bien des conseils de films ou de restaurants, que des tuyaux pour trouver un job d'été, et fournit même un appui pour les démarches administratives.

30 % des réponses sont entièrement données par les machines, 50 % à la fois par des humains et les machines, et 20 % par les programmeurs seuls. Mais la part des algorithmes devrait rapidement devenir majoritaire si les appels se multiplient. La start-up compte se rétribuer grâce à des espaces publicitaires vendus à des entreprises intéressées par la cible étudiante. Et les Franco-



Marjolaine Grondin investit le domaine du temps libre pour offrir un service fondé sur un projet altruiste plutôt que mercantile.

JULIEN DANIEL / NYOPPOURSCIENCESETAVENIR

En partenariat avec :



assureur militant
pour une société collaborative

La MAIF s'engage pour une société collaborative.

Des scientifiques aussi. Sciences et Avenir vous fait découvrir le fruit de leurs recherches. Huitième volet d'une série de rencontres.

Retrouvez l'ensemble des articles
#ideecollaborative sur
consocollaborative.com

phones ne sont pas les seuls visés. Dès l'an prochain, Hello Jam se déclinera dans une autre langue qui n'a pas encore été choisie. À l'origine du projet, Marjolaine Grondin a invité une vingtaine d'étudiants à exposer leurs envies soit en réunion, soit par e-mails. « Dès qu'une idée émergeait plus de trois fois dans nos échanges de post-it et de messages, l'ingénieur l'intégrait à la plate-forme », poursuit-elle. L'intelligence artificielle n'est pas ici un outil imposant ses choix, mais le réceptacle des demandes et exigences des utilisateurs. De fil en aiguille, plus de 800 étudiants ont participé au processus de création. « L'ambition de la plateforme, c'est que l'utilisateur sorte du conformisme, cherche la surprise et la nouveauté avec des valeurs de bienveillance et d'ouverture d'esprit », poursuit la jeune femme. Hello Jam a ainsi suscité l'intérêt d'investisseurs qui ont misé 1 million d'euros lors d'une levée de fonds. Et le Liberté Living-Lab (lire l'encadré) les a invités à rejoindre le nouveau lieu de la « Tech for Good ». ■

Loïc Chauveau

* www.hellojam.fr



LIBERTÉ LIVING-LAB

La nouvelle « sociale vallée » française

Le Liberté Living-Lab a ouvert le 18 octobre dans le Sentier, quartier parisien des start-up. Sur cinq étages, se regrouperont des entreprises qui utilisent l'intelligence artificielle dans des buts civiques et sociaux. « Ces jeunes créateurs ont décidé de mettre leur connaissance de la big data au service de la recherche d'emploi ou l'aide aux devoirs par exemple, il faut donc les épauler mais aussi les fédérer en un lieu unique », expose Jérôme Richez, l'un des fondateurs du lieu. À terme, 200 personnes travailleront sur le site.

R. MEIGNEUX / SIPA



J. HENRY/THE NYT - REDUX - REA

Les règles de sécurité intégrées par les véhicules autonomes (ici des Google cars) pourraient augmenter les embouteillages.

La voiture autonome va créer l'anarchie pédestre

Rassurés par les logiciels de sécurité embarqués, les piétons pourraient traverser la chaussée n'importe où ! Conséquence : de gigantesques embouteillages...

A QUOI RESSEMBLERAIT UNE VILLE envahie par les voitures autonomes ? À une jolie pagaille ! C'est du moins l'une des possibilités envisagées dans une étude prospective parue dans la revue *Journal of Planning Education and Research*, menée par Adam Millard-Ball, de l'université de Californie à Santa Cruz (États-Unis). Selon le chercheur, la compétition entre voitures et piétons pour le partage des rues pourrait tourner à l'avantage de ces derniers. Son analyse repose sur la théorie des jeux. Cet outil mathématique permet de modéliser les stratégies de comportement optimales entre plusieurs entités, ici, les voitures autonomes et les piétons. « Aujourd'hui, les piétons jouent en routine à la "poule mouillée". Traverser la rue, même à un passage protégé, requiert implicitement et instantanément un calcul de probabilités : quelles sont mes chances de survie ? », explique Adam Millard-Ball. Prudence donc. Le bénéfice de traverser une rue rapidement en dehors des clous est ainsi contrebalancé par le risque d'être ren-

versé. Avec la voiture autonome tout change, puisqu'au-delà des règles de circulation, elle suit des règles de sécurité, comme attendre qu'une personne ait traversé la route. Le piéton risque ainsi d'adopter un comportement imprévisible. Les avantages de la voiture sans pilote, telle la réduction des accidents, seraient contrebalancés par une augmentation de la congestion du trafic provoquée par des piétons indisciplinés.

Des comportements antagonistes

Dès lors, deux options se présenteront : ériger des barrières le long de la chaussée pour contenir les piétons ou, au contraire, affirmer leur suprématie dans les centres-villes. Des analystes britanniques de la sécurité routière avaient déjà prédit en juillet un risque d'augmentation des embouteillages avec les voitures autonomes si elles cohabitent avec des voitures classiques en raison de comportements différents sur la route. ■ **Olivier Hertel**

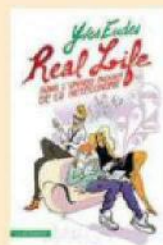
[@OlivierHertel](#)



Tom Slee, Lux, 280 p., 20 €

Ce qui est à toi est à moi

C'est l'histoire de petits sites Internet qui comblerent un besoin pratique mais se heurtent aux grosses entreprises de la vieille économie. Ainsi se présentent Uber, Airbnb, Lyft, Handy et autres acteurs de l'« économie du partage ». Mais l'histoire est un mensonge et « l'économie du partage » un non-sens. Éclairant et implacable, ce livre démontre comment ces sites réinventent la précarité, dévalorisent le travail et ne partagent en réalité pas grand-chose, et surtout pas leurs profits. ■ **Arnaud Devillard**



Yves Eudes, La Découverte, 176 p., 14 €

Real life

Dans l'univers enchanté de la netéconomie

Ce livre est une fiction mais pourrait prétendre au titre de meilleur documentaire sur l'industrie d'Internet. Le plus drôle, aussi. En suivant le personnage de Damien et ses aventures entrepreneuriales, l'auteur (journaliste au *Monde*) raconte tout : le marketing rentre-dedans, les faux buzz, les stagiaires exploités, les médias en ligne boiteux, la sous-traitance en Asie, le *dark web*, les montages financiers douteux... Enlevé et hilarant. Et tout est presque vrai. ■ **A. D.**

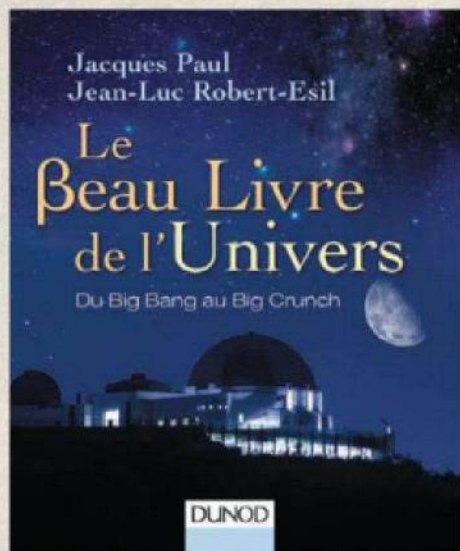


Éric Sadin, éditions L'échappée, 293 p., 17 €

La Siliconisation du monde

C'est « l'industrie de la vie », faite par des startupper inventifs, des gens cool, en jeans, tee-shirt et baskets, qui ne souhaitent finalement qu'une chose : un monde meilleur. Voilà pour le côté pile. Le côté face est bien plus sombre. Il s'appelle Facebook, Google, Apple, Uber... et ne cache plus son obsession pour connaître et exploiter les moindres détails de nos vies. Plus inquiétant, cette industrie diffuse, selon le philosophe Éric Sadin, un modèle civilisationnel dont l'algorithme est le cœur et qui nous dépossède ainsi d'un bien précieux : notre propre pouvoir de décision. ■ **O. H.**

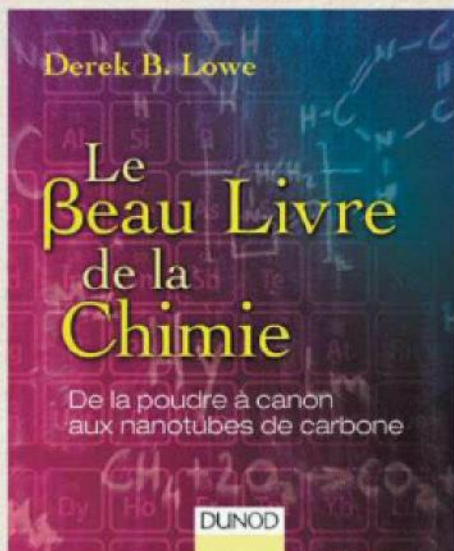
De belles lectures pour la fin d'année



J. PAUL, J.-L. ROBERT-ESIL

9782100747320, 420 pages, 27 €

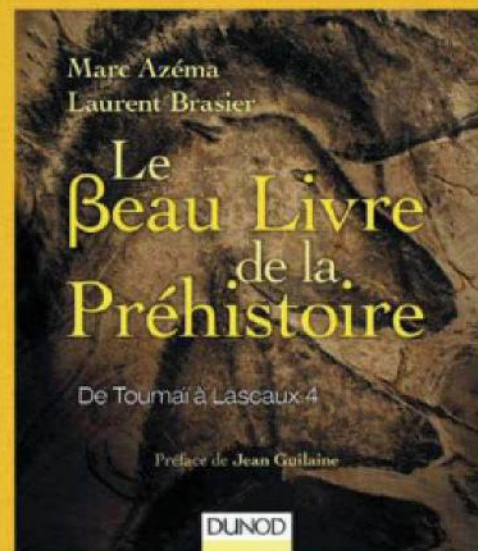
Admirez les images du ciel les plus étonnantes, les œuvres d'artistes qui l'ont rêvé et découvrez les plus grands mystères du cosmos.



D. B. LOWE

9782100749430, 528 pages, 29 €

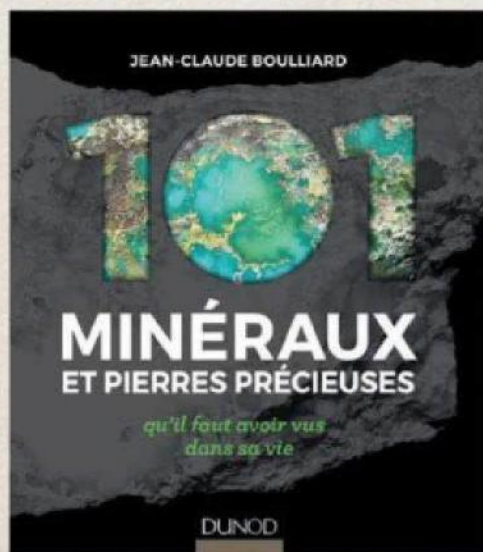
De la fabrication du bronze aux biotechnologies spatiales à l'horizon 2030 : les 250 grandes étapes de l'histoire de la chimie.



M. AZÉMA, L. BRASIER

9782100730797, 420 pages, 27 €

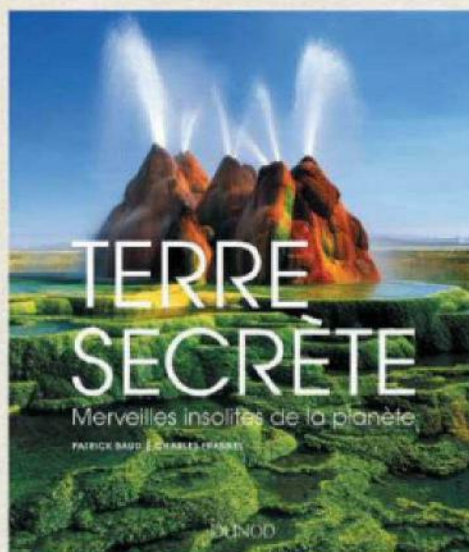
Suivez la passionnante odyssée de l'évolution humaine et découvrez les mystères de nos origines.



J.-C. BOULLIARD

9782100742271, 240 pages, 22 €

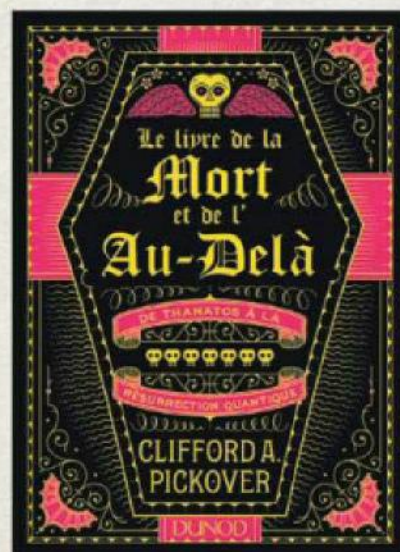
Des plus emblématiques aux plus méconnues, cet ouvrage présente de magnifiques curiosités minérales.



P. BAUD, C. FRANKEL

9782100742257, 224 pages, 25 €

Contemplez cent lieux à la beauté insolite qui témoignent de l'imagination sans limite de la nature.



C. A. PICKOVER

9782100749942, 224 pages, 22 €

Une quête en terre macabre pour élargir notre connaissance de la mort, de ce qu'elle signifie pour nous, et de ce qui pourrait venir après.



AU SPECTACLE

Un Noël high-tech

LES NOUVELLES TECHNOLOGIES se sont engouffrées dans la hotte du Père Noël pour nous distraire, nous assister et même nous faire rêver à d'autres univers. Elles ont d'abord transformé le salon en salle de spectacle. Grâce à l'arrivée de la 4K Ultra HD, les téléviseurs peuvent délivrer une image quatre fois plus fine et définie que la HD (haute définition), ce qui permet de les regarder avec un recul moindre. Envie d'en avoir plein la vue ? Certains écrans affichent une diagonale d'image de plus de deux mètres ! Une évolution extraordinaire qui ne pouvait se passer de celle du son. Lui aussi gagne en finesse et en subtilité avec l'apparition de nouveaux formats tels que ceux exploités par l'audio Hi-Res. Résultat, une qualité d'écoute supérieure à celle du disque compact. Mais les nouvelles technologies permettent aussi de rester connectés, d'immortaliser nos souvenirs, tout en encourageant la pratique sportive. Sans oublier la nouvelle grande tendance, celle de se retrouver plongé dans des mondes virtuels. ■

H.-P. P.

DOSSIER COORDONNÉ PAR
Caroline Brun,
Agence Forum News
RÉDACTION : Henri-Pierre Penel



SoundTouch 300 Bose Enceinte virtuelle

Grâce à un procédé spécifique de renfort du grave, il est possible d'utiliser cette barre de son sans l'assistance d'un caisson de basse. De plus, les guides d'ondes acoustiques qu'elle renferme créent des « enceintes virtuelles ».

Ainsi, les ambiances enveloppantes du son cinéma sont restituées sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à des enceintes auxiliaires. Enfin, ses liaisons sans fil lui permettent de s'insérer dans un système de diffusion multiroom.

Dimensions : 978 x 57 x 108 mm. Poids : 4,7 kg.
Prix indicatif : 799,95 €



UE49KS9000 Samsung Immersion

Pour une sensation Cinémascope, Samsung a offert à son téléviseur un écran incurvé. Par ailleurs, il bénéficie de la technologie Quantum Dot. Elle permet de délivrer des couleurs vives associées à une forte luminosité. Ce téléviseur offre ainsi une image riche et lumineuse, même avec un éclairage ambiant important. Il se décline en plusieurs tailles, jusqu'à 1,98 m (78") de diagonale d'image pour une sensation d'immersion dans l'action.

Définition : UHD 3840 x 2160 pixels
Diagonale d'image : 49" (124 cm)
Dimensions : 1089 x 636 x 52 mm. Poids : 15 kg
Prix indicatif : 2200 € en 49" (1,25 m),
5999 € en 78" (1,98 m)

KD-65ZD9 Sony Et la luminosité fut

Un nouveau procédé de rétroéclairage, baptisé Backlight Master Drive, garantit une image à la fois lumineuse et contrastée. Pour cela, un processeur spécifique analyse chaque image pour en distinguer les zones les plus brillantes et les plus sombres. Enfin, Sony donne ici dans le gigantisme puisqu'il est possible d'acquérir, sur commande, ce téléviseur en format 100", soit une diagonale d'image de 2,54 m.

Définition : UHD 3840 x 2160 pixels
diagonale d'image : 65" (165 cm)



Dimensions : 1462 x 847 x 78 mm. Poids : 32 kg
Prix indicatif : 4 999 € en 65" (1,65 m), 7999 €
en 75" (1,90 m), 70 000 € en 100" (2,54 m)



VSX-1131 Pioneer

L'amplificateur du son

Cet amplificateur home-cinéma séduira les incondtionnels des installations basées sur des enceintes réelles. Compatible avec les standards les plus récents de restitution multicanal du son cinéma, tel le Dolby Atmos, il est polyvalent et joue aussi parfaitement son rôle d'amplificateur hi-fi.

Il est doté d'une entrée dédiée aux platines vinyles, tout en étant ouvert sur l'avenir en intégrant un lecteur réseau. En somme, il constitue une passerelle entre plusieurs univers.

Puissance : 7 x 160 W,
conversion de la vidéo en 4K Ultra HD
Dimensions : 435 x 173 x 370,5 mm. Poids : 10 kg
Prix indicatif : 699 €



Bild 7.55 Loewe

Belle image, beau son

Un design élégant et des finitions irréprochables pour ce téléviseur qui met à profit la technologie OLED pour offrir une image à la belle dynamique de couleur. À noter que Loewe a aussi eu la bonne idée de le doter d'un son à la qualité très



honorale, ce qui n'est que rarement le cas sur les téléviseurs actuels.

Définition : UHD 3840 x 2160 pixels, diagonale d'image : 55" (140 cm)
Dimensions : 1230 x 741 x 52 mm. Poids : 22,6 kg
Prix indicatif : 4990 € (en 55"), 6990 € (en 65")



HA-SHR02 JVC

Casque haute résolution

JVC propose ici un casque dédié à l'écoute des flux audio Hi-Res. Ce nouveau format garantit une qualité sonore supérieure à celle des enregistrements sur Compact Disc, notamment en termes de limpidité et de naturel. Pour cela, le casque est doté de nouveaux transducteurs basés sur un dôme ultraléger à l'excellent comportement dans l'aigu.

Casque supra-auriculaire, réponse en fréquence 8 à 52 kHz

Transducteur à dôme : 40 mm. Poids : 245 g
Prix indicatif : 399 €



Heos 7 Denon

Multiplés sources

Connectée au réseau domestique, cette enceinte multiroom accède aussi bien aux contenus stockés sur les ordinateurs de l'habitation qu'aux web-radios ou aux services de musique en streaming. Exploitant un système de quadruple amplification, elle délivre un niveau d'écoute confortable. Enfin, une combinaison de haut-parleurs actifs et passifs garantit à l'écoute une assise et une finesse qui justifient de lui confier la restitution des meilleurs flux audio haute résolution.

Quadruple amplification classe « D », compatible audio Hi-Res

Dimensions : 230 x 479 x 164 mm. Poids : 4,5 kg
Prix indicatif : 599 €

OLED 65G6V LG

Contrastes gagnants

Vitrine technologique de la marque, les téléviseurs de la série Signature se basent sur la technologie OLED. Elle offre au noir une incroyable profondeur. Une spécificité qui confère à ce procédé un excellent confort de vision dans l'obscurité, très proche de celui ressenti dans une salle de cinéma. De même, le respect des couleurs et l'absence de perte de contraste dès que l'on s'écarte de l'axe de vision séduiront les cinéphiles.

Définition : UHD 3840 x 2160 pixels

Diagonale d'image : 65" (165 cm)

Dimensions : 1461 x 892 x 68 mm



Poids : 17,4 kg

Prix indicatif : 7 999 € en 65" (165 cm),
29 999 € en 75" (190 cm)

AU CONCERT

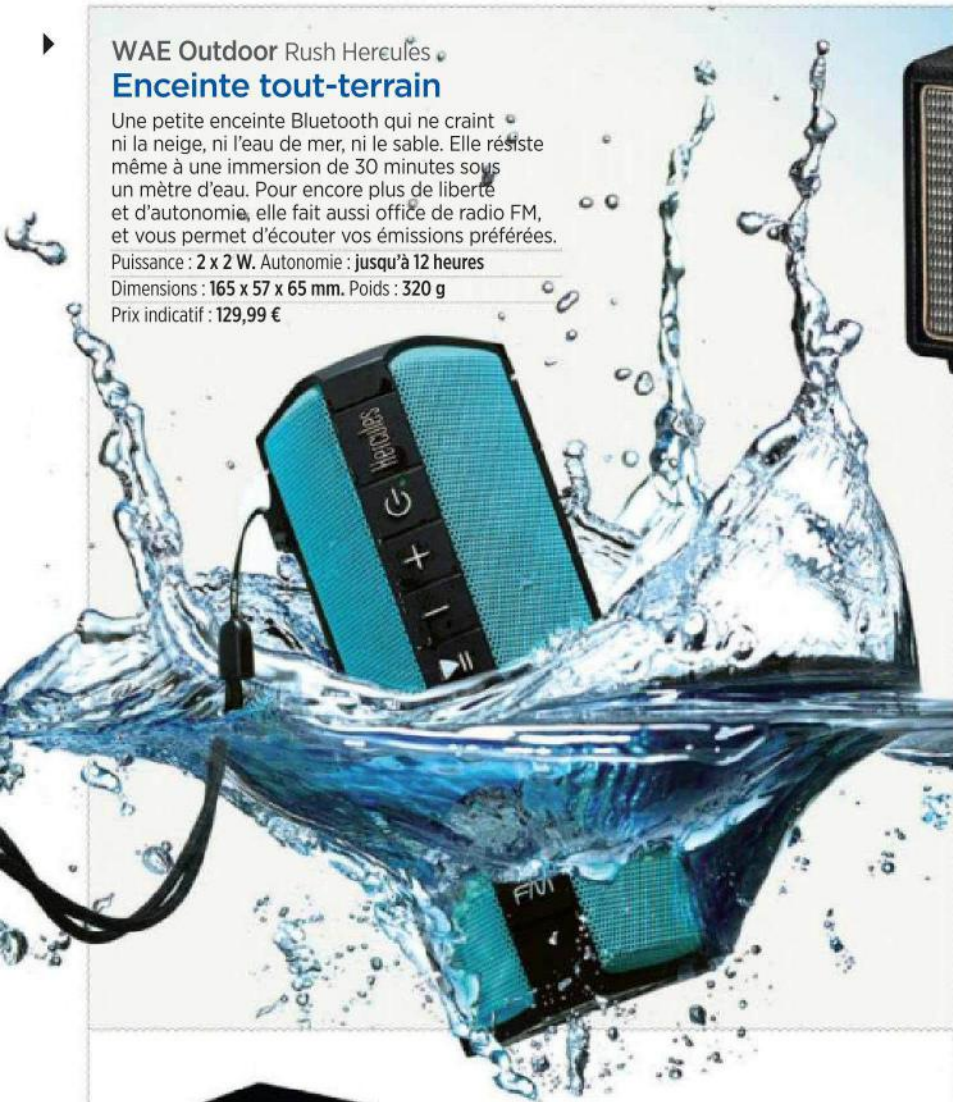
WAE Outdoor Rush Hereulès Enceinte tout-terrain

Une petite enceinte Bluetooth qui ne craint ni la neige, ni l'eau de mer, ni le sable. Elle résiste même à une immersion de 30 minutes sous un mètre d'eau. Pour encore plus de liberté et d'autonomie, elle fait aussi office de radio FM, et vous permet d'écouter vos émissions préférées.

Puissance : 2 x 2 W. Autonomie : jusqu'à 12 heures

Dimensions : 165 x 57 x 65 mm. Poids : 320 g

Prix indicatif : 129,99 €



Kilburn Marshall Générosité vintage

Un look vintage, inspiré des amplificateurs pour guitare électrique de la marque, pour cette enceinte Bluetooth. Son amplification généreuse dispose d'une puissance suffisante pour animer des soirées entre amis tant en intérieur qu'en extérieur grâce à sa batterie rechargeable intégrée.

Puissance : 2 x 5 W + 15 W (basses). Autonomie : 20 heures

Dimensions : 242 x 140 x 140 mm. Poids : 3 kg

Prix indicatif : 269 €



MCR-N570D Yamaha Haute qualité

En dépit de ses dimensions réduites, cette mini-chaîne offre une restitution de haute qualité. Par ailleurs, elle se connecte au réseau domestique, soit en Wi-Fi soit en Ethernet, pour accéder aux radios Internet ou aux meilleurs services de musique en streaming. Enfin,

compatible MusicCast, elle s'intègre à l'« écosystème » multiroom de la marque. Puissance : 2 x 22 W, compatible audio Hi-Res, lecteur CD intégré

Dimensions : 270 x 110 x 330 mm (unité principale), 154 x 273 x 330 mm (enceintes)

Prix indicatif : 649 €



RIG 4VR Playstation Plantronics Casque anti-« mal de mer »

Prioritairement destiné au système de réalité virtuelle de la PS4 Sony, ce casque ouvert limite l'effet « mal de mer » que peuvent engendrer les dispositifs de réalité virtuelle. De plus, le RIG 4 VR fait aussi office de casque nomade. Pour cela, il suffit de le débarrasser de son micro amovible et de lui associer un cordon standard fourni.

Casque circum-auriculaire ouvert, réponse en fréquence 20 Hz à 20 kHz

Transducteur à dôme : 40 mm. Poids : non précisé

Prix indicatif : 69,99 €

LOEWE.

Téléviseur Loewe bild 7
avec écran **OLED**.

Au sommet de la perfection.



Finesse de l'écran OLED motorisé, d'une épaisseur de 7 mm seulement.



Puissante barre de son intégrée de 120W qui se dévoile à l'allumage du téléviseur.



Finition incomparable et fonctionnalités intégrées uniques (enregistreur numérique, multi-tuner...).

Oubliez la télévision d'hier, place à la télévision nouvelle génération avec Loewe bild 7. Des couleurs plus vraies que nature, des contrastes plus nets que jamais, le tout sur un écran UHD/4K plus fin qu'un smartphone, grâce à la technologie OLED.

La parfaite combinaison entre performance et design.

Plus d'informations chez votre distributeur Loewe agréé et sur www.loewe.tv

Made in Germany*

* Fabriqué en Allemagne



M600 Polar
Coach connecté

Expert en monitoring sportif, le constructeur finlandais propose sa première montre connectée de sport Android Wear. Outre les fonctions habituelles d'annonce d'appel entrant, de message ou de consultation des e-mails, commande vocale, etc., elle assure la fonction de coach. À signaler que, outre son capteur cardiaque interne, elle est compatible, pour plus de précision, avec les ceintures thoraciques de la marque.

Prix indicatif : 349,90 €



iKlips DUO + Adam Element
Échanges de fichiers

Pour simplifier les échanges de fichiers avec les équipements nomades de la marque à la pomme, cette petite clé USB dispose d'une prise USB à l'une de ses extrémités et d'un connecteur Lightning à l'autre ; une véritable passerelle entre deux univers. En outre, elle dispose d'une capacité de stockage impressionnante : jusqu'à 128 Go.

Prix indicatif : 85 € (32 Go), 105 € (64 Go), 180 € (128 Go)



Selphy CP1200 Canon
Impression miniature

Miniaturisée et autonome, cette imprimante réalise des tirages au format 10 x 15 en qualité photo grâce à sa technologie d'impression reposant sur la sublimation thermique. Inutile de passer par un ordinateur. Elle récupère les clichés d'un smartphone en Wi-Fi, ceux d'une clé USB ou même d'une carte SD en jouant sur ses commandes intuitives. Une batterie optionnelle est même proposée pour une totale liberté d'impression.

Dimensions : 181 x 136 x 36 mm. Poids : 860 g
Prix indicatif : 129,90 € (coût du tirage 0,35 €)

TECHNO

PlayStation VR Sony
Virtuel plein la vue

Franchissez la frontière du réel et entrez dans les univers virtuels grâce à ce casque. Destiné à la PS4, célèbre console de jeu de Sony, il offre une vision à 360° d'un réalisme saisissant. Léger et confortable, il est proposé à un tarif particulièrement attractif.

Poids : 610 g

Prix indicatif : 399 €



X-T2 Fujifilm
Photo d'action

Dernier-né de Fujifilm, le X-T2 affiche des caractéristiques d'exception. Ultraléger, 507 g seulement, il dispose d'un nouveau capteur, d'un obturateur et d'un mode rafale qui le prédisposent à la photo sportive ou d'action. Tout-terrain, il résiste aux chocs et projections d'eau pour suivre son heureux détenteur dans ses activités les plus extrêmes.

Capteur : APS-C CMOS X-Trans III 24,3 mégapixels

Obturateur : 1/8000 s à 30 s, sensibilité 200 à 12800 ISO

Monture X pour objectifs Fujinon XF/XC et M.

Prix indicatif : 1699 € boîtier nu, 1999 € avec objectif XF 18-55 mm

SurfWheel Eco-Rider
Glisse facile

Retrouver des sensations de glisse à la ville, c'est ce que propose le SurfWheel.

À mi-chemin entre le skateboard et la gyroroue, cette planche propose une nouvelle expérience qui ne manquera pas de séduire les amateurs de surf comme de snowboard.

Dimensions : 810 x 210 x 220 mm. Poids : 16,5 kg

Vitesse maximale : 18 km/h. Autonomie : 30 km

Prix indicatif : 1199 €



Notre ordinateur portable professionnel le plus fin et le plus léger

Le nouvel HP EliteBook Folio Reinvent Obsession*

HP recommande Windows 10 Pro.



Pour en savoir plus, rendez-vous sur :
hp.com/go/businesspremium
Avec processeur Intel® Core™ m7 vPro™.
Intel Inside® pour une productivité exceptionnelle.



keep reinventing**

* Reinvent Obsession = L'obsession Réinventée

** keep reinventing = réinventez sans cesse

Notre ordinateur portable professionnel le plus fin et le plus léger : sur la base d'une analyse HP interne portant sur les ordinateurs portables professionnels, dotés de fonctions pré-installées de cryptage, d'authentification, de protection contre les logiciels malveillants et de protection au niveau du BIOS, équipés en option d'une station de travail avec alimentation intégrée, ayant réussi les tests MIL STD 810G et totalisant des ventes annuelles supérieures à 1 million d'unités au 4 janvier 2016. Microsoft et Windows sont des marques commerciales ou des marques déposées de Microsoft Corporation aux États-Unis et/ou dans d'autres pays. © Copyright 2016 HP Development Company, L.P. Intel, le Logo Intel, Intel Core, Intel vPro, Core Inside et vPro Inside sont des marques déposées d'Intel Corporation aux États-Unis et dans d'autres pays.

EN CONTACT



Switch Alpha 12 Acer Puissance et souplesse

Ce portable 2 en 1 associe la puissance d'un ordinateur à la souplesse d'utilisation d'une tablette grâce à son clavier détachable. Pour lui offrir des performances exceptionnelles, Acer l'a doté d'un processeur Intel Core i7 associé à un dispositif de refroidissement sans ventilateur. Enfin, son écran 12" (305 mm) ultra-haute définition offre un excellent confort de vision.

Processeur : Intel Core à 2,8 GHZ

Écran : 12" (305 mm) 2160 x 1440 pixels

Dimensions : 292 x 201 x 9,5 mm

Poids : 900 g (tablette). Autonomie : 8 heures

Prix indicatif : à partir de 799 €



Yoga Book Lenovo Tablette mutante

Mi-tablette, mi-ordinateur, le Yoga Book dispose d'un curieux clavier qui fait aussi office de tablette graphique. De plus, sa fonction « notes » propose de mémoriser des tracés ou des annotations, même réalisées sur un bloc au format A5 posé sur son clavier.

Processeur : Intel Atom à 2,4 GHZ

Écran : 10,1" (257 mm) full HD

Dimensions : 257 x 171 x 9,6 mm

Poids : 690 g. Autonomie : 15 heures

Prix indicatif : 499 € (Android), 599 € (Windows)

Smart Mini Echo Smartphone pour tous

Un prix ultra-serré pour ce smartphone qui bénéficie pourtant de caractéristiques adaptées à un usage de tous les jours. Sa mémoire de 4 Go peut être étendue jusqu'à 64 Go par ajout d'une carte micro SD. Si le Smart Mini ne convient pas aux « gamers », ses performances suffiront pour séduire un public junior.



Écran : 4" (101 mm). Appareil photo : 2 mégapixels

OS : Android 5.1. Dimensions : 64,3 x 122 x 9,5 mm

Poids : 106 g

Prix indicatif : 49,90 €



OMEN X HP PC pour joueurs

Avec ce PC, la très sérieuse marque s'attaque au monde du gaming.

Pour aborder ce marché, elle propose une configuration musclée et, surtout, évolutive.

Son coffret spacieux est conçu pour accepter tant des extensions de mémoire que des cartes graphiques couplées, pour toujours plus de performances, ou jusqu'à quatre unités de disques durs.

Processeur : Intel Core i7 à 4GHZ, cartes vidéo NVIDIA GeForce GTX 1070

Dimensions : 504 x 406 x 515 mm

Poids : 28,2 kg

Prix indicatif : à partir de 2199 €

Galaxy S7 Edge Samsung Photo-baroudeur

Un smartphone aux courbes douces capable de résister à une chute dans l'eau et aux poussières. Il séduira aussi les amateurs de photo grâce à la technologie Dual Pixels de son appareil photo qui, en combinant deux clichés, en fusionne les informations pour une image encore mieux définie.

Écran : 5,5" (140 mm) AMOLED Quad HD

Appareil photo : 12 mégapixels,

OS : Android. Dimensions : 151 x 73 x 7,7 mm

Poids : 157 g. Prix indicatif : 799 €



ZEN Phone 3 Asus Déclinaisons

Asus décline son nouveau Zen Phone en 4 versions : Zenfone 3, Zenfone 3 Laser, Zenfone 3 Max et Zenfone 3 Deluxe. À chaque déclinaison, sa spécificité : autofocus optimisé pour le Laser, autonomie augmentée sur le Max, finitions de haute qualité pour le Deluxe.

Écran : 5,2" (132 mm). Appareil photo : 16 mégapixels

OS : Android. Dimensions : 153 x 77 x 7,7 mm

Poids : 155 g. Prix indicatif : à partir de 249,99 €



ARCHOS



Vos plus beaux Selfies

199€*
(sans abonnement)



5.5" IPS FHD



4GB RAM



64 GB



16/8 MP



Lecteur
d'empreinte



Gyroscope



ARCHOS 55 Diamond Selfie

www.archos.com



* Soit 229€ - 30€ remboursés jusqu'au 31 décembre 2016. Offre valable uniquement en France métropolitaine, voir condition sur archos.com. Toutes les marques citées sont des marques déposées par leurs propriétaires respectifs. Informations données sous réserve d'erreurs typographiques et susceptibles de modifications sans préavis. Images non contractuelles. Copyright ARCHOS 2016. Tous droits réservés. SAR : Head Max: 0.147 W/Kg (10g) - Body Max: 1.556 W/Kg (10g).



L'Icann (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) a dû repenser son organisation avec la fin de la tutelle (ici en 2015).

Par quoi sera remplacée la tutelle américaine sur Internet ?

CONTEXTE. Début octobre, a expiré le contrat qui liait depuis 1998 le ministère américain du Commerce à l'Icann, l'organisme non gouvernemental chargé de gérer les noms de domaine et d'assurer la coordination technique du réseau.

L'ÉVÉNEMENT AURAIT DÛ AVOIR LIEU EN 2000. C'est finalement le 1^{er} octobre que la tutelle du gouvernement américain sur l'Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (Icann) a pris fin,

pour céder la place à un nouveau mode de fonctionnement de cet organisme chargé de gérer les noms de domaines et les adresses IP. Née en septembre 1998, au moment où Internet devenait un outil grand public, l'Icann avait repris les fonctions techniques de l'Internet Assigned Numbers Authority, une instance remontant à l'époque où le réseau des réseaux s'appelait encore Arpanet. Et l'enjeu est considérable, comme l'explique Mathieu Weill, directeur général de l'Association française pour le nommage Internet en coopération, chargée de la

gestion des noms de domaines français de premier niveau (.fr, .bzh, .paris...) : « Le fonctionnement d'Internet repose sur des communications établies entre de très nombreux réseaux, répartis partout dans le monde. Ils utilisent des langages communs (protocoles) et des adresses uniques. Les noms de domaine, qui se terminent par exemple en .fr ou en .com, servent à retrouver les services en ligne et les serveurs Web. Pour qu'un nom de domaine ne soit alloué qu'une seule fois, une coordination centrale est assurée par l'Icann. » Par contrat, le ministère américain du Commerce avait un droit

ROSAN RAHMAN / AEP

de regard sur les décisions de l'Icann, y compris celles ne concernant pas les États-Unis. Washington avait prévu d'alléger cette tutelle dès 2000... mais les choses se sont compliquées avec l'explosion des usages de l'Internet. « *La structure de l'Icann n'était pas mûre à l'époque pour y faire face et le maintien de la tutelle américaine s'est révélé bien utile* », explique Mathieu Weill. Jusqu'à la résiliation définitive, début octobre. Pour préparer cette échéance, l'Icann a passé les deux dernières années à repenser sa structure.

Résultat ? Un mode de fonctionnement très différent. « *Les mécanismes en cas de crise et les rapports de force sont changés* », estime Mathieu Weill. Les instances de l'Icann comptent désormais une cour d'appel interne compensant les pouvoirs du conseil d'administration, lui-même supervisé par diverses entités : représentants des internautes, des entreprises privées, de la communauté technique, des gouvernements. Ils peuvent agir comme un contre-pouvoir. Il a été aussi rappelé à l'Icann qu'elle devait se limiter à son rôle technique : hors de question de lancer des réflexions sur la régulation des contenus des sites, par exemple.

Reste à voir cette structure renouvelée à l'œuvre. Quelques dossiers délicats sont d'ores et déjà sur la table. En 2012, l'organisme avait voté une libéralisation des noms de domaine en plus des .com, .org, .net et des suffixes nationaux. L'Icann devra prochainement décider de poursuivre ou non cette libéralisation et trouver comment employer les près de 400 millions de dollars engrangés grâce à cette libéralisation. ■ **Arnaud Devillard**

LE MOT DU MOIS

Asgardia

Une nouvelle nation spatiale : c'est ce que veut créer un consortium international, qui l'a d'ores et déjà baptisée Asgardia, dérivé du nom d'une cité que la mythologie nordique plaçait au centre du monde et sur laquelle régnait le dieu Odin. L'initiative, annoncée le 12 octobre, a été prise par Igor Ashurbeyli, fondateur de la société privée Aerospace International Research Center basée à Vienne. Elle ambitionne de créer dans l'espace une entité juridique qui fonctionnerait comme un État souverain. Le consortium espère lancer son premier satellite dès l'automne 2017. « *Ce projet est un non-sens juridique, tempère Armel Kerrest, spécialiste de droit spatial à l'université de Bretagne-Occidentale. L'article 6 du traité de 1967 qui s'applique aujourd'hui impose à tout satellite lancé d'être autorisé et supervisé par un État.* » Or, puisque Asgardia n'envisage pas de construire un lanceur, elle sera obligée d'utiliser un engin existant, européen, russe ou américain... ■

Sylvie Rouat
@Srouat1

Les couches sont-elles cancérigènes ?

CONTEXTE. Le 25 octobre, des articles se sont alarmés de la présence de traces de produits cancérigènes dans les couches Pampers (70 % du marché).

DES TRACES D'HYDROCARBURES AROMATIQUES polycycliques (HAP) classés cancérigènes ! C'est ce qu'ont révélé des tests menés par le laboratoire indépendant d'analyse SGS, commandés par la société Love and Green, concurrente de Pampers, qui commercialise des couches « bio ». Mais de quoi parle-t-on précisément ? Les HAP constituent une très vaste famille de composés chimiques formés à la suite d'une combustion incomplète ou d'une décomposition de matière organique par la chaleur. On peut en retrouver à peu près partout : air ambiant, eaux, sols, cosmétiques, produits alimentaires... La réglementation européenne Reach limite la teneur en HAP des éléments accessibles en plastique ou en caoutchouc à 1 mg/kg de produit fini. Mais, compte tenu de la vulnérabilité des enfants, cette norme est abaissée à 0,5 mg/kg pour les jouets et articles de puériculture. Les résultats des tests menés sur les couches Pampers que *Sciences et Avenir* a pu se procurer révèlent en effet la présence de 2 HAP : du benzo-anthracène et du chrysène. Deux substances « dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est supposé » selon la classification de l'OMS. « Supposé » et donc non « avéré ». Selon l'élément des couches étudié (élastique, arrière ou



Les traces mesurées sur les couches étaient de 3 à 5 fois inférieures à la norme.

avant de la couche...), le laboratoire SGS a retrouvé sur le voile intérieur de la gamme Baby Dry 0,110 mg/kg de benzo-anthracène et 0,104 mg/kg de chrysène. Mais rien de mesurable sur les autres parties de la couche. La gamme Active Fit présente, elle, des taux de 0,194 mg/kg de benzo-anthracène et 0,182 mg/kg de chrysène sur les élastiques. Très loin donc de la limite de 0,5 mg/kg.

« *Le problème, c'est que les seuils limites de la réglementation Reach ne sont pas déterminés en fonction de l'usage des produits réglementés. Une couche se porte presque 24 h/24, ce n'est pas la même utilisation qu'une lingette par exemple* », objecte Céline Couteau, cofondatrice de Love and Green. L'idéal serait de mener une étude au long terme pour évaluer l'incidence des cancers à l'âge adulte des enfants langés par Pampers ou par des couches bio. Un travail épidémiologique autrement plus complexe... et coûteux que de tester quelques échantillons... ■

Hugo Jalinière
@hugojaliniere



Le rêve d'Icare à portée de main

À hélices ou en forme d'aile volante, les drones grand public embarquent des technologies très élaborées qui les rendent performants tout en garantissant la sécurité des utilisateurs.

EN QUELQUES ANNÉES, les drones — ces petits aéronefs sans pilote embarqué — ont conquis de nombreux secteurs professionnels ainsi que celui des loisirs, avec plus de 300 000 exemplaires vendus en France en 2015. Tandis que les concepteurs d'applications professionnelles relèvent sans cesse de nouveaux défis techniques, le secteur ludique perfectionne des solutions pour faire baisser les coûts. Nous nous intéresserons ici uniquement aux drones de loisirs.

Quel type de drone choisir pour débuter ?

Pour s'initier au pilotage, le mieux est d'opter pour un appareil n'excédant pas une dizaine de centimètres, sans équipement sophistiqué. On pourra le tester en intérieur en s'affranchissant des aléas liés au vent,

entre autres, et apprendre à maîtriser les effets d'inertie.

Sont-ils faciles à piloter ?

Oui, après un peu d'entraînement, car l'électronique embarquée contrecarre tout ordre qui compromettrait la stabilité de l'appareil. Les plus simples sont équipés d'une radiocommande de 2,4 GHz de 20 à 500 mètres de portée selon les modèles. Mais la plupart se pilotent grâce à une application dédiée pour smartphone. C'est notamment le cas des modèles de Parrot. La connexion Wi-Fi n'excède pas alors 70 mètres. L'informatique embarquée permet de fixer l'altitude minimale, la distance par rapport au pilote, etc. Enfin, les modèles haut de gamme disposent d'un GPS permettant une programmation du vol avec retour automa-

tique (RTH : *return to home*). Sur la plupart, un dispositif appelé « *Fail-safe* » coupe les moteurs pour éviter que l'engin ne prenne le large.

Quel budget ?

Le choix est vaste, de quelques dizaines d'euros pour des microdrones à plusieurs milliers pour des appareils disposant de certaines capacités de charge, dotés d'équipement de prise de vues. Les plus onéreux permettent aussi de participer à des compétitions.

Quelle est leur autonomie ?

Elle reste brève, de dix à une trentaine de minutes pour les modèles les plus performants. Mais les conditions de vol (vent...) peuvent la faire fortement varier. Quand la charge est épuisée, une alerte informe le pilote que l'engin

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET Avenir

passer en « réserve » et, sur certains modèles, un « atterrissage automatique » évite la chute libre.

« Multicopter » ou aile volante, quelle différence ?

Les multicoptères, avec quatre, six voire huit hélices (quadri, hexa, ou octocoptères) décollent à la verticale et peuvent rester en vol stationnaire alors que les ailes volantes, qui évoluent davantage à la façon d'un avion, ont besoin d'une petite piste d'envol. Une exception toutefois : le Parrot Swing peut décoller à la verticale avant de passer en mode aile volante pour atteindre une vitesse plus élevée. Les ailes volantes offrent des sensations de pilotage rappelant celles d'un avion, les multicoptères étant plus aptes au tournage de séquences vidéo.

Quel intérêt pour la photo ou la vidéo ?

Les drones autorisent des angles de prise de vues inédites pour des amateurs. Les caméras embarquées sont parfois placées dans une nacelle pour une meilleure qualité d'images (*lire l'encadré ci-dessus*). Certains modèles proposent l'option « Follow me », l'appareil

TANGAGE, ROULIS, LACETS

Des nacelles pour des images parfaitement stables

Comme tout appareil évoluant dans les airs, un drone en vol est soumis à des mouvements de tangage (balancements avant/arrière), de roulis (basculements droite/gauche), et de lacets (zigzags). Les nacelles de stabilisation ont pour mission de compenser ces mouvements indésirables. Il existe deux types de nacelles. Les premières, dites deux axes, compensent le tangage et le roulis. L'image est ainsi stabilisée, mais la caméra vise toujours dans l'axe du drone. Les secondes, qualifiées de nacelles trois axes, compensent aussi les mouvements

de lacet. De plus, elles disposent le plus souvent d'une forte amplitude de mouvement dans le plan horizontal, ce qui autorise des tournages dans des directions différentes de l'axe du drone et ainsi beaucoup plus de liberté de prise de vues. Quel que soit le modèle, des accéléromètres et des gyroscopes pilotent des petits moteurs qui orientent la nacelle en permanence afin de compenser les mouvements du drone. On retrouve le même principe de fonctionnement sur les poignées de stabilisation destinées aux smartphones, par exemple.

étant programmé pour suivre automatiquement son utilisateur dans ses déplacements. Idéal pour filmer ses exploits sportifs !

Navigation à vue ou « FPV » ?

En navigation à vue, le pilote commande l'appareil en le regardant évoluer dans le ciel. En mode FPV (*first person view*), il suit sur un écran l'engin équipé d'une caméra frontale. Avec les systèmes les plus évolués, le pilote peut coiffer un casque de réalité virtuelle pour une sensation d'immersion dans le vol.

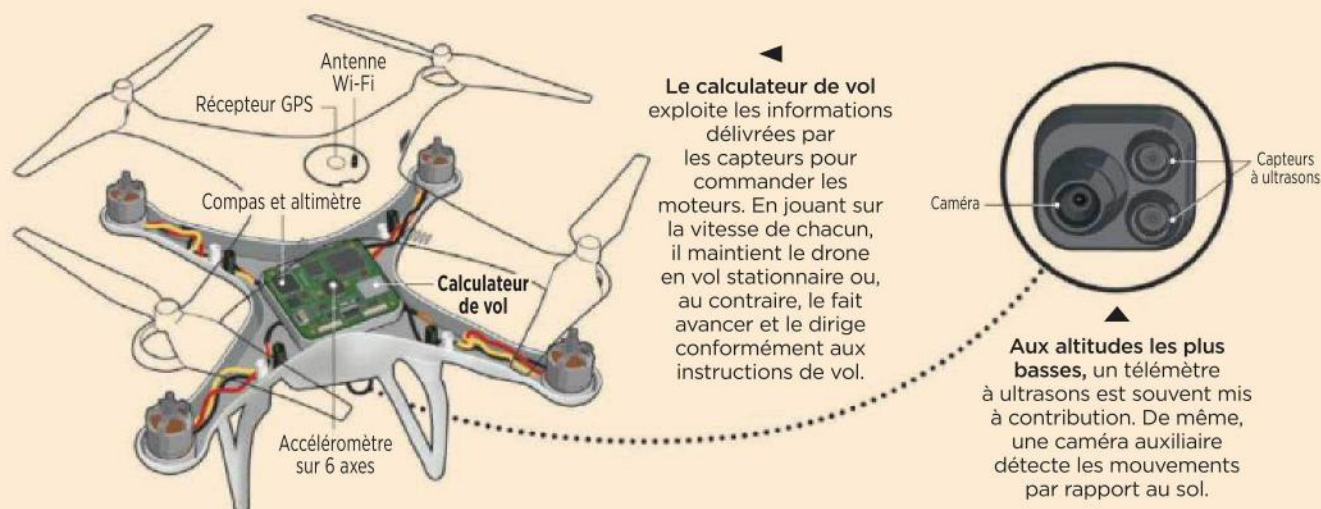
Quelle est la réglementation ?

L'Assemblée nationale a adopté en septembre une réglementation fondée sur le poids du drone. Au-dessus de 800 g — c'est le cas de la majorité des modèles hors ceux de Parrot —, il devra être immatriculé et son pilote justifier d'une formation. Le texte ne devrait pas entrer en vigueur avant 2018... à moins qu'une règle européenne ne le contredise d'ici là. ►

Banc d'essai pages suivantes

Comment l'aéronef se repère

L'appareil contrôle en permanence ses déplacements. Pour cela, il utilise de nombreux capteurs. Ils peuvent être complémentaires ou ne travailler que durant certaines phases du vol tels que le décollage ou l'atterrissage. Certains modèles disposent même de capteurs d'obstacles.



DRONES DE LOISIRS



MARQUE ET MODÈLE	Archos drone	Parrot Mambo	Parrot Swing
Prix indicatif	79,99€	119€	139€
Type	Quadricoptère	Quadricoptère	Quadricoptère et aile volante
Caméra embarquée	photo 1 mégapixel, vidéo 1280 x 720 pixels, retour vidéo (FPV)	photo 480 x 640 pixels, vidéo pour mesure de la vitesse uniquement	photo 480 x 640 pixels, vidéo pour mesure de la vitesse uniquement
Temps de vol	Jusqu'à 9 minutes	Jusqu'à 8 minutes	Jusqu'à 8 minutes
Vitesse maximale	25 km/h horizontale, 3,6 km/h en ascension	Jusqu'à 30 km/h horizontale	Jusqu'à 30 km/h horizontale
GPS	Non	Non	Non
Application de pilotage	Oui, compatible iOS et Android	Oui, compatible iOS et Android	Oui, compatible iOS et Android
Télécommande	Oui avec affichage de la charge batterie	Optionnelle	Optionnelle
Dimensions/poids	360 x 360 x 110 mm / 135 g	180 x 180 mm (hauteur non précisée) / 63 g	325 x 126 mm (hauteur non précisée) / 73 g
Les plus	Prix, simplicité d'utilisation, 8 hélices et télécommande fournis	Accessoires proposés, assistance au pilotage, figures préprogrammées	Double mode de vol, assistance au pilotage, figures préprogrammées
L'avis de SCIENCES AVENIR	Idéal pour s'initier à moindre frais. Une commande d'arrêt d'urgence déclenche un atterrissage automatique. Seul regret : la vidéo à 20 images/s est un peu juste pour une parfaite fluidité.	Très ludique, il reçoit des accessoires : une pince motorisée, pour transporter de petits objets (jusqu'à 4 g), ou un « canon à billes », pour des combats aériens.	Après un décollage vertical en mode quadricoptère, le Swing « bascule » pour passer en mode aile volante. Ce double mode de déplacement autorise la prise de clichés soit vers le sol, soit vers l'horizon.



MARQUE ET MODÈLE	GoPro Karma	Hexo+	DJI Mavic Pro
Prix indicatif	870€ (1200€ avec GoPro 5)	999€	1199€
Type	Quadricoptère	Hexacoptère	Quadricoptère
Caméra embarquée	Vendue séparément ou pack GoPro 5	Vendue séparément (compatible GoPro 3 et 4)	4K Ultra HD à 30 images/s
Temps de vol	Jusqu'à 20 minutes	Jusqu'à 15 minutes	Jusqu'à 27 minutes
Vitesse maximale	Jusqu'à 35 km/h horizontale	Jusqu'à 70 km/h horizontale	Jusqu'à 65 km/h horizontale
GPS	Oui	Oui	Oui
Application de pilotage	Oui, compatible iOS et Android	Oui, compatible iOS et Android	Oui, compatible iOS et Android
Télécommande	Oui, fournie avec écran FPV	Non	Oui, liaison longue portée
Dimensions/poids	365 x 224 x 90 mm / 1006 g	435 x 410 x 244 mm / 1700 g	83 x 83 x 198 mm (diagonale 335 mm déployé) / 743 g
Les plus	Décollage et atterrissage automatisés, retour automatique au point de départ en cas de perte de liaison	Fonction « Follow me », mouvements caméras préprogrammés	Fonction « Follow Me », portée élevée des liaisons radio (jusqu'à 7 km)
L'avis de SCIENCES AVENIR	Capable de grimper à près de 3500 m pour des panoramas saisissants, le Karma est doté d'une nacelle compatible avec différents modèles de GoPro.	Puissant et très stable grâce à ses six hélices. Possibilité de programmer des mouvements de caméra pour varier les angles de prises de vues.	Ce drone pliable permet de réduire son encombrement et les risques de l'abîmer durant le transport. Le déploiement des hélices se fait sans outil.



Ubsan Desire H502S FPV 4X

230€

Quadricoptère

Vidéo 1280 x 720 pixels, retour vidéo (FPV)

Jusqu'à 13 minutes

Non précisé

Oui

Non

Oui, fournie avec écran FPV

165 x 165 x 60 mm / 147 g

Fonction « Folow Me », télécommande avec écran fournie

Pour vous filmer dans la pratique des sports les plus extrêmes, ce modèle est doté d'une fonction de suivi automatique du sujet. Il le cadre ainsi en permanence tout en le suivant. De même, le retour caméra FPV donne la sensation visuelle d'être à bord du drone.



Weebot Falcon

749€

Quadricoptère

Vidéo full HD 1080p, retour vidéo (FPV)

Jusqu'à 10 minutes

Jusqu'à 72 km/h horizontale

Non

Non

Oui, fournie avec casque FPV

220 x 200 mm (hauteur non précisée) / 950 g

Casque de réalité virtuelle fourni, vitesse de déplacement très élevée

Pour une immersion totale dans l'action avec le sentiment de prendre place dans le Falcon en vol, un casque de réalité virtuelle est fourni. Une sensation impressionnante lors des compétitions de drones, entre autres.



DJI Phantom 4

1399€

Quadricoptère

4K Ultra HD à 25 images/seconde

Jusqu'à 28 minutes

Jusqu'à 72 km/h horizontale, 22 km/h en ascension

Oui

Oui, compatible iOS et Android

Oui, liaison longue portée

3500 mm (diagonale, hauteur non précisée) / 1380 g

Assistance au pilotage (mode débutant), compatible live view FPV, mode « Folow Me »

Un grand classique du drone de prise de vues. Outre son assistance au pilotage et ses dispositifs d'évitement d'obstacles, il assure le suivi automatique d'un sujet en mouvement.



PowerVision PowerEgg

1499€

Quadricoptère

4K Ultra HD à 30 images/seconde

Jusqu'à 23 minutes

Jusqu'à 47 km/h horizontale, 18 km/h en ascension

Oui

Non

Oui

272 x 176 mm (diagonale 476 mm déployé) / 2100 g

Télécommande innovante au maniement très intuitif rappelant celui de la console Nintendo Wii

Une fois ses hélices repliées, ce modèle ressemble à un ballon de rugby. Il se transporte ainsi très facilement et sa mise en service ne nécessite aucun outil.



Netgear Orbi

Wi-Fi à tous les étages

Le système Orbi conçu par Netgear garantit une couverture Wi-Fi en très haut débit de chaque habitation. La base et les répéteurs établissent une liaison spécifique (type Mesh Quad Stream) qui assure un débit atteignant 433 mégabits par seconde.

429€ environ (base + répéteur)

Tile Slim Bluetooth tracker

Porte-clés électronique

Ce petit carré blanc, nommé Tile, est un porte-clés électronique permettant de géolocaliser tout objet perdu. Particularité par rapport à ses concurrents : il se connecte, par Bluetooth, aux smartphones des autres utilisateurs de la communauté Tile pour élargir ses recherches sur une zone géographique plus étendue.

34,99€



Ricoh Theta SC

Caméra multiservice

Dotée d'un objectif grand angulaire (ouverture F2.0) sur chaque face, la petite caméra Theta SC de Ricoh prend vidéos (et photos) en 360° avec une définition Full HD



1920 x 1080 pixels à 30 images par seconde avec une durée maximale de 5 minutes. Les vidéos sont compatibles avec les systèmes d'immersion en réalité virtuelle et transférables, sans fil, vers un smartphone ou une tablette tactile.

299€

Par Johan Kieken



MERCURE

La petite planète atteint sa plus grande distance angulaire au Soleil le 11, à près de 21° à l'est de notre étoile. Elle est observable en soirée au cours des trois premières semaines du mois, basse dans la direction du Soleil couchant. Mercure se trouvera en conjonction inférieure avec l'astre du jour le 28.



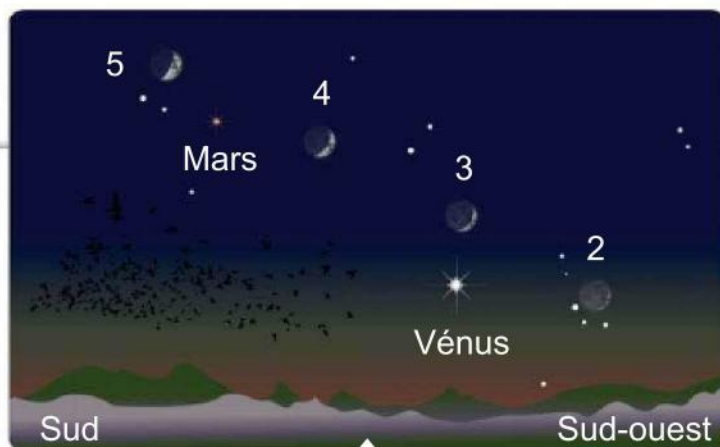
VÉNUS

Au fil des jours, l'étoile du Berger est de plus en plus facilement observable en soirée et en début de nuit en direction du couchant. Etincelante et immanquable, elle se couche 4 heures après le Soleil en fin de mois.



MARS

Comme le mois dernier, la planète Rouge est à rechercher en soirée assez bas vers le sud, avant qu'elle ne décline rapidement vers l'horizon sud-ouest. Si près de 24° séparent Mars de Vénus le 1^{er}, il n'y en aura plus que la moitié le 31. Mars perd 20 % de son éclat au cours du mois.



Du 2 au 5, une Lune en phase croissante rend visite à Vénus puis Mars. Nous sommes ici une heure après le coucher du Soleil.

Accéder à la 3^e dimension

LES RAPPROCHEMENTS ENTRE LA LUNE ET LES PLANÈTES sont très fréquents. En effet, le plan dans lequel la Lune circule autour de la Terre n'est que peu incliné par rapport à ceux dans lesquels les planètes gravitent autour du Soleil. Ce mois, c'est entre le 2 et le 5 que notre satellite passe non loin de Vénus et de Mars. Les rapprochements ne sont, bien sûr, qu'apparents.

À noter. Voici cinq faits saisissants valables en ce début décembre : dans notre ciel, Vénus est 80 fois plus brillante que Mars. Elle est 370 fois plus éloignée de nous que la Lune, et Mars 560 fois. Elle s'approche de la Terre à hauteur de 1 million de kilomètres par jour alors que Mars s'en éloigne d'autant...



JUPITER

La plus grosse des planètes est désormais solidement installée dans le ciel de fin de nuit. Elle se situe dans la Vierge, non loin de Spica, l'étoile principale de cette constellation. Jupiter passera en quadrature le mois prochain. Elle sera alors à 90° à l'ouest du Soleil, signe que des observations de qualité pourront débuter.



SATURNE

La planète aux anneaux est en conjonction avec le Soleil le 10. Elle ne redevient timidement visible qu'en toute fin de mois, très basse dans les lueurs du levant.

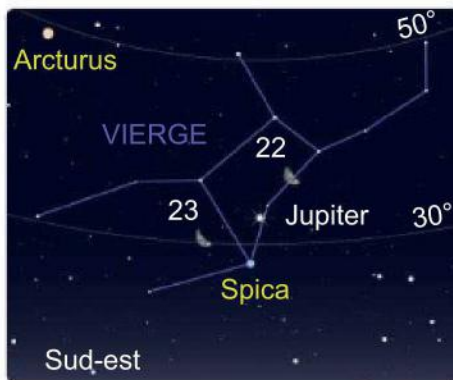
L'appli du mois



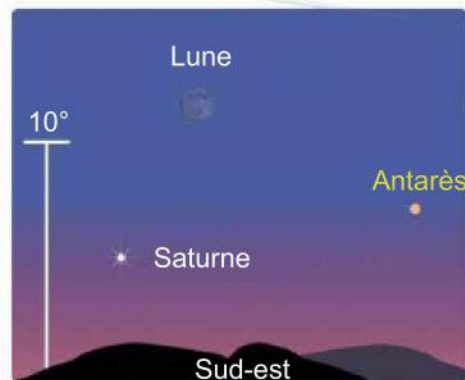
SS LIVE est une application gratuite qui vous permet d'admirer, sur un téléphone ou une tablette Android, la Terre en temps réel et en haute définition vue depuis la Station spatiale internationale. Couplée à un service de cartographie, elle vous aide à relier ce que vous observez à la position de la station spatiale sur son orbite.



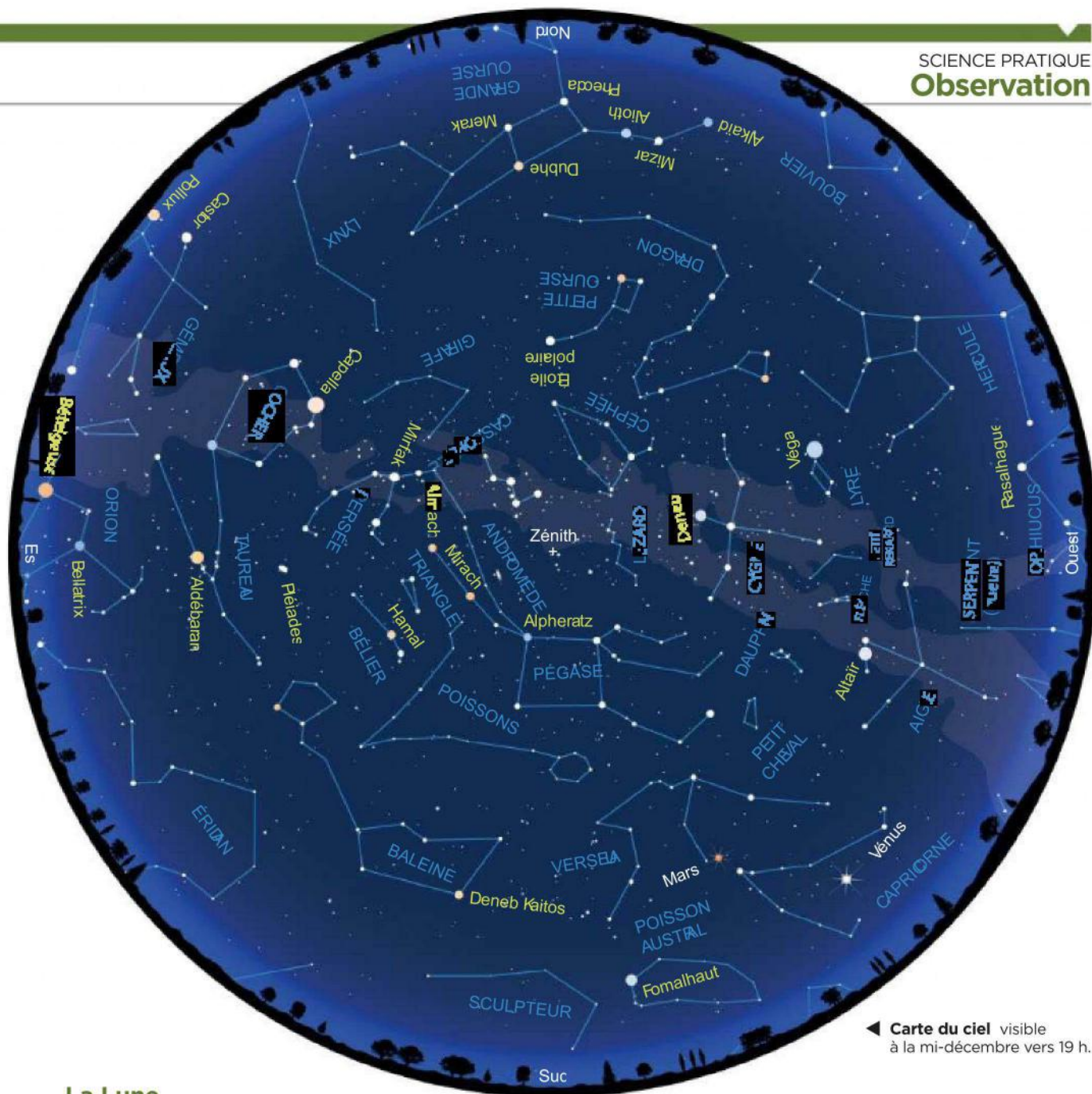
EN DÉBUT DE NUIT, LA CONSTELLATION DE PÉGASE est visible vers le sud. Algenib, Markab et Scheat forment avec Alpheratz, l'étoile principale d'Andromède, le célèbre carré de Pégase.



LES MATINS DU 22 ET 23, JUPITER CONSTITUE UN BON REPÈRE pour constater le déplacement quotidien de la Lune alors en dernier quartier. Il est ici 2 h avant le lever du Soleil.



LE MATIN DU 27 DÉCEMBRE, À PEINE UNE DEMI-HEURE AVANT LE LEVER DU SOLEIL, Antares du Scorpion et un très fin croissant de Lune annoncent le retour de la planète Saturne.



◀ Carte du ciel visible à la mi-décembre vers 19 h.

La Lune



Premier quartier : mercredi 7 à 10 h (La Lune se trouve alors dans la constellation du Verseau)



Pleine Lune : mercredi 14 à 1 h (Taureau)



Dernier quartier : mercredi 21 à 3 h (Vierge)



Nouvelle Lune : jeudi 29 à 8 h (Sagittaire)

Le Soleil

(à Paris) **Lever** **Coucher**

1^{er} décembre 8 h 23 16 h 56

31 décembre 8 h 44 17 h 04

Solstice d'hiver le 21 à 12 h

D'où voir le ciel

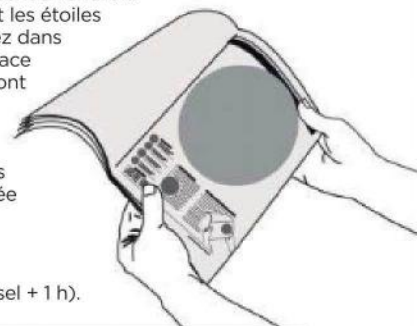
Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans



le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47^e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.

Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon à ce que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 1 h).

EXPOSITIONS

Cran-Gevrier (74)

Antarctique, une explosion de vie

Accessible dès 8 ans, cette exposition propose d'embarquer à bord de *L'Astrolabe* pour partir avec des scientifiques à destination de la base française Dumont-d'Urville en Terre-Adélie. La Turbine, 3 rue des Tisserands, jusqu'au 5 mars 2017. Rens. : 04.50.67.12.85.

Genève (Suisse)

Dinosaures

Une collection de fossiles mise au jour dans l'État du Wyoming aux États-Unis par une équipe de paléontologues suisses pour découvrir le monde des fouilles et les résultats les plus récents sur la façon dont vivaient les dinosaures. Muséum d'Histoire naturelle, 1, route de Malagnou, jusqu'au 12 mars 2017. Rens. : +41.(0)22.418.63.00.

Lens (62)

L'histoire commence en Mésopotamie

L'importance de la Mésopotamie antique, patrimoine mondial connu partiellement grâce à la Bible et redécouvert à partir du XIX^e siècle lors des fouilles archéologiques, aujourd'hui menacé par la situation tragique en Irak et au Moyen-Orient (*lire S. et A. n° 837, novembre 2016*). Louvre-Lens, 99, rue Paul-Bert, jusqu'au 23 janvier 2017. Rens. : 03.21.18.62.62.

Lyon (69)

Corps rebelles

Une exposition sur l'histoire de la danse au XX^e siècle qui invite à comprendre la danse contemporaine comme un langage universel. Musée des Confluences, 86, quai Perrache, jusqu'au 5 mars 2017. Rens. : 04.28.38.11.90.

Montbéliard (25)

Indestructible énergie

Accessible dès 8 ans, un parcours pour découvrir le concept d'énergie à travers



Des ateliers ludiques permettent aux enfants de découvrir cette période mal connue.

Paris (75) / Exposition

Quoi de neuf au Moyen Âge ?

Plus de mille ans d'histoire dans un même sac ? Difficile de faire une exposition sur le Moyen Âge, un terme inventé par les humanistes de la Renaissance pour désigner la période qui les séparait d'une Antiquité sublimée. Avec un sous-entendu péjoratif qui s'est perpétué jusqu'à aujourd'hui, au travers de l'adjectif « moyenâgeux » par exemple ou des clichés véhiculés par les personnages du film *Les Visiteurs*. Mais le Moyen Âge n'était ni si sombre ni si homogène. L'exposition de la Cité des sciences et de l'industrie débute avec un rappel de toutes les grandes dates, dont la maîtrise n'est toutefois pas nécessaire à la suite du parcours. On monte ensuite un étage pour découvrir la richesse des innovations — techniques et sociales — qui ont marqué cette époque. La mise en scène est originale. Six étapes non chronologiques

mais culturelles conçues prioritairement pour les enfants : les origines, les campagnes, les paysages, les élites, les voyages et les villes. Un espace meublé de « boîtes » ouvertes, chacune avec un petit texte descriptif puis des présentations archéologiques, des manipulations, des films, des installations interactives. On picore. Avec un regret. « *Quoi de neuf au Moyen Âge ?* » promettait le titre..., mais les découvertes archéologiques récentes et leurs interprétations, si elles sont bien présentes, sont trop peu mises en avant. Aussi a-t-on l'impression que l'exposition tente plus de combattre des idées reçues que de présenter les avancées les plus récentes. ■ **Mathieu Nowak**
Cité des sciences et de l'industrie,
30, avenue Corentin-Cariou, jusqu'au 6 août 2017.
Rens. : 01.85.53.99.74.

des expériences et des manipulations.

Le Pavillon des sciences,
3, rue Charles Lalance,
jusqu'au 5 mars 2017.
Rens. : 03.81.91.46.83.

Paris (75)

Sites éternels

Sous-titrée « De Bâmiyân à Palmyre. Voyage au cœur des sites du patrimoine universel », cette exposition gratuite propose de découvrir les splendeurs de grands sites archéologiques aujourd'hui inaccessibles : Bâmiyân, Khorsabad, Palmyre, la mosquée des Omeyyades de Damas et le krak des Chevaliers, tous menacés par

les conflits en Afghanistan et au Moyen-Orient (*lire S. et A. n° 837, novembre 2016*). Grand Palais, galerie sud-est, du 14 décembre 2016 au 9 janvier 2017. Rens. : 01.44.13.17.17.

Guerres secrètes

Une exposition sur l'histoire des techniques et des outils d'espionnage de la Seconde Guerre mondiale à la Guerre froide. L'occasion de découvrir pour la première fois nombre de gadgets utilisés par les « vrais » James Bond. Lire notre critique sur sciav.fr/guerressecretes. Musée de l'Armée des Invalides, 129, rue de Grenelle, jusqu'au 29 janvier 2017. Rens. : 08.10.11.33.99.

Les temps mérovingiens

L'activité intellectuelle et artistique durant les trois siècles qui séparent la bataille des Champs catalauniques (451) du dernier souverain de la lignée de Mérovée (751). Musée de Cluny - Musée national du Moyen Âge, 6, place Paul-Painlevé, jusqu'au 13 février 2017. Rens. : 01.53.73.78.00.

Pascal, le cœur et la raison

L'œuvre de Blaise Pascal, au fil de trois « ordres » qui organisent la pensée pascalienne : le corps, la raison et le cœur. Bibliothèque François-Mitterrand, galerie-1, quai François-Mauriac, jusqu'au 29 janvier 2017. Rens. : 01.53.79.59.59.

Saint-Germain-en-Laye (78)

L'ours dans l'art préhistorique

Comment l'ours a été représenté par les artistes du paléolithique supérieur (entre -38 000 et -11 000 ans environ). Lire notre critique sur sciaiv.fr/oursprehistorique

Musée d'Archéologie nationale, château, place Charles-de-Gaulle, jusqu'au 30 janvier 2017.
Rens. : 01.39.10.13.00.

Saint-Dizier (52)

Austrasie, le royaume mérovingien oublié

Exposition dédiée au royaume des Francs de l'Est, l'Austrasie, berceau de la dynastie mérovingienne.

Espace Camille-Claudel, 9, avenue de la République, jusqu'au 26 mars 2017.
Rens. : 03.25.07.31.50.

Strasbourg (67)

Le Lab'oh

Un nouvel espace de 400 m² dédié à la créativité. Dix expériences (manipulations, perceptions, etc.) pour comprendre les rouages de la créativité et tester la sienne. Lire notre critique sur sciaiv.fr/expolaboh

Le Vaisseau, 1, bis, rue Philippe-Dollinger.
Rens. : 03.69.33.26.69.

Toulouse (31)

Astronautes

La vie des astronautes à bord de la Station spatiale Internationale, leurs gestes en impensable, les tâches à accomplir pour leurs missions scientifiques, le repos, etc. Cité de l'espace, avenue Jean-Gonnord, jusqu'en décembre 2018.
Rens. : 05.67.22.23.24.

Vaulx-en-Velin (69)

Expérience Lune

Pour revivre le parcours des 12 hommes qui ont foulé le sol lunaire, une présentation des différentes missions, des expériences menées sur notre satellite et des créations que cette conquête a engendrées.

Planétarium, place de la Nation, jusqu'au 9 août 2017.
Rens. : 04.78.79.50.13.



MUSÉE DES ARTS ET MÉTIERS-CHAM/HAURI

fait dialoguer l'imaginaire de François Schuiten et Benoît Peeters, les auteurs des bandes dessinées *Cités obscures*, avec de merveilleux objets choisis dans les collections des Arts et Métiers. Une maquette d'avion de Blériot survole une locomotive à vapeur, des astrolabes... lesquels côtoient les planches de François Schuiten, nourries de références architecturales et de technologie rétro-futuriste. « Cette exposition a été l'occasion de redécouvrir nos réserves. La grâce de certaines machines est saisissante », confie Yves Winkin, le directeur du musée. En fin de parcours, le visiteur est invité à s'installer devant une table à dessin, et par la grâce du crayon, apprendre à regarder. ■ A. K.

Musée des arts et métiers, 60, rue Réaumur, jusqu'au 26 février 2017. Rens. : 01.53.01.82.00.

Paris (75)/ Exposition

Machines à dessiner

Un scaphandre aux allures de mutant, dessiné en 1882 par les frères Carmagnolle, donne l'ambiance : préparez-vous à plonger dans un univers à la Jules Verne, où se conjuguent onirisme et drôles de machines! Lumières douces, voiles de tulle, écrans suspendus..., la scénographie, toute en sensations, fait dialoguer l'imaginaire de François Schuiten et Benoît Peeters, les auteurs des bandes dessinées *Cités obscures*, avec de merveilleux objets choisis dans les collections des Arts et Métiers. Une maquette d'avion de Blériot survole une locomotive à vapeur, des astrolabes... lesquels côtoient les planches de François Schuiten, nourries de références architecturales et de technologie rétro-futuriste. « Cette exposition a été l'occasion de redécouvrir nos réserves. La grâce de certaines machines est saisissante », confie Yves Winkin, le directeur du musée. En fin de parcours, le visiteur est invité à s'installer devant une table à dessin, et par la grâce du crayon, apprendre à regarder. ■ A. K.

Musée des arts et métiers, 60, rue Réaumur, jusqu'au 26 février 2017. Rens. : 01.53.01.82.00.

Toulouse (31)

Médor forever, copier-cloner son animal

Par Sylvie Chastant, professeure en reproduction à l'École nationale vétérinaire. Muséum, auditorium, 35, allées Jules-Guesde, le 1^{er} décembre à 18 h 30. Rens. : 05.67.73.84.84.

Vaulx-en-Velin (69)

Les Météorites, messagères du Système solaire

Par Cathy Quantin-Nataf, géologue, et Luc Labenne, chasseur de météorites. Planétarium, place de la Nation, le 15 décembre à 20 h. Rens. : 04.78.79.50.13.

Fleury-devant-Douaumont (55)

Les secours aux blessés et aux victimes

L'évolution de la médecine de guerre durant les 100 dernières années. Lire notre critique sur sciaiv.fr/medecineverdun Mémorial de Verdun, 1, avenue du Corps-Européen, jusqu'au 31 mars 2017.
Rens. : 03.29.88.19.16.

CONFÉRENCES

Paris (75)

La psychologie de l'enfant devenue une science

Par Olivier Houdé, professeur de psychologie à l'université Paris-Descartes. Institut du Cerveau et de la Moelle épinière, hôpital de la Pitié-Salpêtrière, 83, bd de l'Hôpital, le 15 décembre à 18 h. Rens. : conferences.icm@icm-institute.org

Rennes (35)

Big data en santé : Quels usages? Quels bénéfices?

Par Claude Gissot, directeur de la stratégie, des études et des statistiques à la Cnam (Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés), et Emmanuel Bacry, directeur de recherche au Centre de mathématiques appliquées du CNRS. Les Champs libres, 10, cours des Alliés, le 6 décembre à 20 h 30. Rens. : 02.23.40.66.00.

LA GÉODE PRÉSENTE EN FORMAT GÉANT

IMAX

A BEAUTIFUL PLANET

DEVENEZ ASTRONAUTE DE L'ISS !

IMAX A BEAUTIFUL PLANET est une production de la GÉODE en collaboration avec la NASA. Ce film présente des images spectaculaires de la Terre vue depuis l'espace, prises par les satellites de l'Agence spatiale européenne et la NASA. Le film est réalisé par la GÉODE et la NASA.

Avec le soutien de l'Agence spatiale européenne ESA
En coopération avec la NASA

logode.fr @logodeparis /logodeparis

globe gull logodeparis



VIDÉO

Au Falling Walls de Berlin, entretien avec le créateur des Fab Labs



Olivier Lascar, rédacteur en chef pôle digital
@olascar olascar@sciencesetavenir.fr

L'Américain Neil Gershenfeld est à l'origine du concept des Fab Labs, ces ateliers ouverts à tous où le numérique permet de façonner de véritables objets. Le 9 novembre, il était à Berlin, pour la conférence internationale Falling Walls, où *Sciences et Avenir* l'a rencontré. Autres personnalités dont vous pouvez retrouver les interviews filmées : Jack Gallant et Karsten Danzmann, respectivement spécialistes du cerveau et des ondes gravitationnelles.
sciaiv.fr/838fallingwalls

Le Top 8 du mois

Les + lus sur Internet

Cyberattaque du 21 octobre : que s'est-il passé ?
sciaiv.fr/838cyber

La fracture du pénis
sciaiv.fr/838penis

Demain, des drones taser ?
sciaiv.fr/838drones



CHAOS NEON

Les + partagés

Quelles bactéries sur les poignées des portes dans les aéroports ?
sciaiv.fr/838bact

Un jour sur Saturne
sciaiv.fr/838saturne



NASA

Les + likés

Génétique : l'être humain tombe de son piédestal
sciaiv.fr/838gene

Un dentifrice pour prévenir l'infarctus
sciaiv.fr/838dents

Quand le saumon avait des dents aiguisées
sciaiv.fr/838saumons



UN VERS TY OF OREGON

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

2 minutes

Minidrones pour seniors

L'université de l'Illinois (États-Unis) teste des quadricoptères autoguidés pour assister les personnes âgées au quotidien.
sciaiv.fr/838drone

10 minutes

Faut-il arrêter le gluten ?

Consommé depuis des millénaires, le gluten est incriminé dans des problèmes de santé. Aurait-on intérêt à l'exclure de notre alimentation ? Réponse d'un spécialiste.
sciaiv.fr/838gluten

15 minutes

« Tout a commencé par un défi »

Dans un entretien exclusif accordé à *Sciences et Avenir*, Jean-Pierre Sauvage, Nobel de chimie 2016, revient sur ses travaux sur les machines moléculaires.
sciaiv.fr/838sauvage

VIDÉO

L'astrophysicien David Elbaz explique la matière noire



Azar Khalatbari, chef de service
@azarkhalatbari akhalatbari@sciencesetavenir.fr

Scientifique au CEA, David Elbaz explique pourquoi les physiciens ont eu besoin d'introduire la notion de matière noire à la fin des années 1970, un composant invisible qui représenterait 26 % du contenu de l'Univers. Pourtant, une étude récente la remet en cause...
sciaiv.fr/838elbaz



SCIENCES ET Avenir

Nos liens Internet simplifiés.
sciencesetavenir.fr devient **sciaiv.fr**

Les liens Internet conseillés dans les pages du journal le sont sous la forme du préfixe sciaiv.fr/ suivi d'une chaîne de lettres et chiffres qu'il faut taper intégralement dans la barre de navigation de votre navigateur internet en respectant les majuscules et les minuscules. Ainsi, page 57, dans notre article "Lascaux, la colline sanctuarisée", le lien sciaiv.fr/838lascaux renvoie directement à notre reportage en images sur la grotte de Lascaux 4.



M. Curie

Transmettre l'espoir de vaincre le cancer

Léguer à l'Institut Curie,
1^{er} Centre français de recherche
en cancérologie

Transmettre tout ou une partie de ses biens
à l'Institut Curie, premier centre français de
recherche en cancérologie, est un formidable
message d'espoir pour tous ceux qui luttent contre
le cancer.

En soutenant les efforts de l'Institut Curie, fondé
par Marie Curie, vous effectuez un geste de
générosité envers les générations futures, vous
donnez aux chercheurs et médecins les moyens de
prendre le cancer de vitesse et associez votre nom
à ce combat pour la vie.

LEGS - DONATIONS - ASSURANCES-VIE



www.curie.fr

 Ensemble, prenons le cancer de vitesse.

Pour tout renseignement contacter Catherine Ricatte Institut Curie :
26, rue d'Ulm - 75248 Paris Cedex 05 - 01 56 24 55 34 - catherine.ricatte@curie.fr

BULLETIN DE DEMANDE D'INFORMATION à compléter à retourner sous enveloppe à l'adresse ci-dessus.

- ☐ Je désire recevoir votre documentation sur les
legs, donations et assurances-vie en faveur
de l'Institut Curie.
- ☐ Je souhaite être contacté en toute confidentialité par
votre responsable legs, donations et assurances-vie.
Vous pouvez me joindre au numéro ci-contre ►

☐ Mme ☐ M. Nom :
Prénom :
Adresse :
Code postal :
Ville :
Tél. :



L'OR

LE PUR PLAISIR
ESPRESSO

MAINTENANT DANS UNE
CAPSULE ALUMINIUM



L'OR, sans doute le meilleur café du monde